

水处理过程与设备丛书
SHUICHULI GUOCHENG YU SHEBEI CONGSHU



化学法水处理 过程与设备

廖传华 朱廷风 代国俊 许开明 编著

HUAXUEFA
SHUICHULI
GUOCHENG
YU
SHEBEI



化学工业出版社

水处理过程与设备丛书

化学法水处理过程与设备

廖传华 朱廷风 代国俊 许开明 编著



化学工业出版社

·北京·

本书是“水处理过程与设备丛书”中的一个分册，书中将化学法水处理工艺分为中和、化学混凝、化学沉淀、离子交换、常温化学氧化、湿式空气氧化、超临界水氧化法、焚烧、电化学化、光化学氧化等，并分别针对各处理方法的工艺过程及相关设备的设计与选型进行了介绍。

本书可作为污水处理厂、污水处理站的管理人员与技术人员、环保公司的工程设计、调试人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

化学法水处理过程与设备/廖传华等编著. —北京:
化学工业出版社, 2016. 3
(水处理过程与设备丛书)
ISBN 978-7-122-25938-7

I. ①化… II. ①廖… III. ①水处理-化学处理-工
艺学②水处理-化学处理-设备 IV. ①TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 315998 号

责任编辑: 卢萌萌 仇志刚
责任校对: 边涛

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 22¼ 字数 610 千字 2016 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

水是生命之源，生产之要，生态之素，生活之基，人类社会的发展一刻也离不开水。当前我国水资源面临的形势十分严峻，随着经济社会的快速发展和人口的增长，水污染加剧、水生态环境恶化等问题日益突出，已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。由于水污染而产生的环境事件、公共安全事件甚至重大社会事件，严重影响人民的身体健康和社会的和谐稳定，直接威胁到人类的生存空间。

针对废水的水质特性及排放标准要求，本书系统介绍了化学法水处理工艺及相关设备。所谓化学处理方法，是通过化学反应使水或废水中呈溶解状态的无机物和有机物被氧化或还原为微毒、无毒的无机物，或者转化成容易与水分离的形态，从而达到处理的目的。化学处理过程的实质是通过采取不同的方法，包括投加药剂或氧化法、电化学法和光化学法而实现电子的转移。失去电子的过程称为氧化，失去电子的元素所组成的物质称为还原剂；得到电子的过程称为还原，得到电子的元素所组成的物质称为氧化剂。在氧化还原过程中，氧化剂本身被还原，而还原剂本身则被氧化。根据采用的方法不同，本书将化学法水处理工艺分为中和、化学混凝、化学沉淀、离子交换、常温化学氧化、湿式空气氧化、超临界水氧化、焚烧、电化学氧化、光化学氧化等，并分别针对各处理工艺的工艺流程及相关设备的设计与选型进行了介绍。

全书共分为12章。第1章概述性地介绍了我国当前的水资源分布、废水的水质特性及废水的化学处理方法；第2章介绍了中和法水处理工艺；第3章介绍了化学混凝法水处理工艺；第4章介绍了化学沉淀法水处理工艺；第5章系统介绍了中和法、化学混凝法、化学沉淀法工艺流程的共性设备；第6章介绍了离子交换法水处理工艺及相关设备；第7章介绍了常温化学氧化法水处理工艺及相关设备；第8章介绍了湿式空气氧化法水处理工艺及相关设备；第9章介绍了超临界水氧化法水处理工艺及相关设备；第10章介绍了焚烧法高浓度废水处理工艺及相关设备；第11章介绍了电化学水处理工艺及相关设备；第12章介绍了光化学法水处理工艺及相关设备。

本书由南京工业大学廖传华、朱廷凤，中国石化化工销售有限公司江苏分公司代国俊，南京三方化工设备监理有限公司许开明编著，其中第1章、第2章、第3章、第9章、第11章由廖传华编著，第4章、第7章、第8章、第12章由朱廷凤编著，第5章、第6章由代国俊编著；第10章由许开明编著。

全书的编著工作得到了南京工业大学副校长巩建鸣教授、南京工业大学副书记朱跃钊教授等领导的大力支持，南京清涛环境科技有限公司王丽红、南京三方化工设备监理有限公司赵清万、南通华安超临界萃取有限公司穆爱民、南京工业大学王重庆副教授对本书的编著工作提出了大量宝贵的建议，研究生高豪杰、张阔、李智超、郭丹丹、石鑫光、闫月婷、张龙飞、罗威、王慧斌、刘理力、金丽珠、朱亚松、赵忠祥、闫正文、王太东、李洋、刘状、汪威、李亚丽、廖炜、宗建军等在资料收集与处理方面提供了大量的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

历时四年，终于成稿。虽经多次审稿、修改，但水处理过程涉及的知识面广，由于作者水平有限，不妥及疏漏之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教，作者将不胜感激。

编著者
2015.10



目录

CONTENTS

第1章 绪论	
1.1 中国的水资源现状	1
1.1.1 水资源的分布	1
1.1.2 水资源量	4
1.2 水的循环	5
1.2.1 水的自然循环	5
1.2.2 水的社会循环	6
1.3 废水的水质	6
1.3.1 生活污水和城市污水的水质	7
1.3.2 工业废水的水质	8
1.4 水污染物排放标准的分类与制定原则	9
1.4.1 《污水综合排放标准》	10
1.4.2 《行业水污染物排放标准》	13
1.4.3 《污水排入城镇下水道水质标准》	13
1.4.4 《城镇污水处理厂污染物排放标准》	13
1.4.5 《城市污水再生利用》系列标准	15
1.5 废水处理工艺	15
1.5.1 废水处理程度的分级	15
1.5.2 工业废水的处理方式	16
1.6 水和废水的化学处理方法	16
1.6.1 化学处理方法的原理	17
1.6.2 化学处理方法的分类	18
第2章 中和	
2.1 酸性废水与碱性废水	20
2.2 酸性废水的中和处理	21
2.2.1 用碱性废水或碱性废渣中和	22
2.2.2 投药中和	23
2.2.3 过滤中和	25
2.3 碱性废水的中和方法	28
参考文献	29
第3章 化学混凝	
3.1 胶体的特性与结构	30
3.1.1 胶体的特性	30
3.1.2 胶体的结构	31
3.1.3 胶体的稳定性	33
3.1.4 胶体的凝聚	34
3.2 水的混凝过程	34
3.2.1 混凝过程	34
3.2.2 混凝剂	35
3.2.3 助凝剂	39
3.2.4 混凝效果的影响因素	39
3.2.5 混凝试验	41
3.3 混凝过程的机理	41
3.3.1 双电层压缩理论	42
3.3.2 吸附电中和作用机理	43
3.3.3 吸附架桥作用机理	43
3.3.4 网捕或卷扫机理	44
3.3.5 铝盐在水中的化学反应及其混凝机理	44
3.4 混凝过程的动力学	46
3.4.1 碰撞速率与混凝速率	46
3.4.2 速度梯度的计算	47
3.4.3 混凝控制指标	49

3.4.4 混凝工艺一般流程及设计要点	50	3.5.2 废水处理	51
3.5 混凝的应用	50	参考文献	51
3.5.1 给水处理	50		

第4章 化学沉淀

4.1 基本原理	53	4.6.2 卤化物沉淀法	65
4.1.1 沉淀的化学平衡	53	4.6.3 磷酸盐沉淀法	66
4.1.2 化学沉淀法的分类	55	4.6.4 磷酸铵镁沉淀法	66
4.2 氢氧化物沉淀法	55	4.6.5 有机试剂沉淀法	66
4.3 硫化物沉淀法	58	4.7 化学沉淀法在废水处理中的应用	67
4.4 碳酸盐沉淀法	59	4.8 化学还原法	68
4.4.1 水的化学软化	60	4.8.1 化学还原法的分类	68
4.4.2 石灰-纯碱软化法	61	4.8.2 还原法除铬	69
4.4.3 石灰-石膏软化法	62	4.8.3 还原法除汞	70
4.5 铁氧体沉淀法	63	4.8.4 还原法除铜	71
4.6 其他沉淀法	64	参考文献	72
4.6.1 钡盐沉淀法	64		

第5章 投药、混合、反应设备

5.1 投药设备	73	5.3.4 折板反应池	86
5.1.1 药剂投加方法	73	5.3.5 其他形式反应池	86
5.1.2 药剂干式投配设备	74	5.4 沉淀池	87
5.1.3 药剂湿式投配设备	74	5.4.1 平流式沉淀池	87
5.2 混合设备	77	5.4.2 竖流式沉淀池	92
5.2.1 机械搅拌混合	77	5.4.3 辐流式沉淀池	94
5.2.2 水力混合	79	5.4.4 斜板(管)式沉淀池	96
5.2.3 水泵混合	81	5.5 清泥设备	99
5.3 反应设备	81	5.5.1 刮泥机和浓缩机	100
5.3.1 水力隔板反应池	82	5.5.2 吸泥机	103
5.3.2 涡流反应池	83	参考文献	106
5.3.3 机械搅拌反应池	84		

第6章 离子交换

6.1 离子交换法的基本原理	108	6.2.7 离子交换树脂的选用	117
6.1.1 离子交换平衡	108	6.2.8 树脂的保存	118
6.1.2 离子交换速率	109	6.2.9 新树脂的使用	118
6.2 离子交换剂与离子交换树脂	110	6.2.10 树脂的鉴别	118
6.2.1 离子交换剂	110	6.3 水中常见溶解离子与软化除盐浓度	
6.2.2 离子交换树脂的结构	111	表示方法	118
6.2.3 离子交换树脂的类型	112	6.3.1 水中常见溶解离子	118
6.2.4 离子交换树脂的命名和型号	113	6.3.2 水的硬度的表示方法	119
6.2.5 离子交换树脂的物理性能	114	6.3.3 水的纯度的表示方法	119
6.2.6 离子交换树脂的化学性质	115	6.3.4 软化除盐计算的离子浓度常用单位	119

6.3.5	水中阴阳离子的关系	120	6.7.6	双室浮动床离子交换器	140
6.4	离子交换反应的特性及其软化除盐原理	120	6.7.7	回程式离子交换器	141
6.4.1	软化与除盐的目的及基本方法	120	6.7.8	离子交换柱	142
6.4.2	离子交换反应特性	120	6.8	再生液系统和除二氧化碳器	143
6.4.3	离子交换软化除盐基本原理	122	6.8.1	再生液系统	143
6.5	离子交换法软化与除盐工艺	123	6.8.2	除二氧化碳器	144
6.5.1	软化与除碱工艺流程	123	6.9	离子交换装置的计算与设计	145
6.5.2	复床、混床除盐工艺流程	125	6.9.1	设计依据	145
6.6	离子交换器的工作过程	127	6.9.2	系统的参数计算	145
6.6.1	固定床离子交换器间歇工作过程	127	6.10	离子交换树脂的变质、污染及其防治	146
6.6.2	一级复床的工作过程	131	6.10.1	树脂的变质	146
6.6.3	连续式离子交换器工作过程	132	6.10.2	树脂的污染及防治	147
6.7	离子交换器	133	6.11	离子交换法工业废水处理流程及其应用	148
6.7.1	固定床离子交换器	133	6.11.1	离子交换法处理工业废水的特点	148
6.7.2	移动床离子交换器	137	6.11.2	离子交换法处理工业废水的应用	148
6.7.3	连续床离子交换器	137	参考文献	152	
6.7.4	混合床离子交换器	138			
6.7.5	浮动床离子交换器	138			

第7章 常温化学氧化

7.1	空气氧化	153	性能	181	
7.1.1	空气氧化的机理	153	7.3.5	Fenton 试剂的类型	182
7.1.2	地下水除铁和锰	154	7.3.6	影响 Fenton 反应的因素	183
7.1.3	空气氧化除硫	158	7.3.7	Fenton 试剂在废水处理中的应用	184
7.2	臭氧氧化	159	7.4	氯氧化	185
7.2.1	臭氧的理化性质	159	7.4.1	液氯氧化	185
7.2.2	臭氧氧化降解有机物的机理	161	7.4.2	化合氯氧化	190
7.2.3	臭氧的制备	163	7.4.3	氯氧化法在废水处理中的应用	193
7.2.4	臭氧发生器	164	7.4.4	二氧化氯氧化法	194
7.2.5	臭氧接触氧化反应器	166	7.5	高锰酸钾氧化	203
7.2.6	臭氧接触反应装置设计	169	7.5.1	高锰酸钾的主要物理化学性质	203
7.2.7	尾气处理	171	7.5.2	高锰酸钾的制备	204
7.2.8	臭氧-过氧化氢组合工艺	171	7.5.3	高锰酸钾在水处理中的应用	204
7.2.9	臭氧氧化法在水处理中的应用	172	7.6	高铁酸钾氧化	205
7.3	过氧化氢氧化	176	7.6.1	高铁酸钾的物理化学性质	206
7.3.1	过氧化氢的主要物理化学性质	176	7.6.2	高铁酸钾的制备	207
7.3.2	过氧化氢的制备	178	7.6.3	高铁酸钾在水处理中的应用	208
7.3.3	过氧化氢在环境工程中的应用	179	7.6.4	高铁酸钾氧化处理苯酚的机理	210
7.3.4	Fenton 试剂的催化机理及氧化性能	181	参考文献	211	

第8章 湿式空气氧化

8.1	湿式空气氧化技术及其特点	212	8.2.1	湿式空气氧化的机理	213
8.2	湿式空气氧化的机理及动力学研究	213	8.2.2	湿式空气氧化的动力学研究	214
			8.3	湿式空气氧化的影响因素	215

8.4	湿式空气氧化的工艺流程与设备	217	8.6.2	均相催化湿式氧化	227
8.4.1	湿式空气氧化的工艺流程	217	8.6.3	非均相催化湿式氧化	227
8.4.2	湿式氧化的主要设备	221	8.6.4	催化湿式氧化在有机废水处理中的 应用	231
8.5	湿式空气氧化的应用	221	参考文献		232
8.6	催化湿式氧化技术	225			
8.6.1	催化湿式氧化常用的催化剂	226			

第9章 超临界水氧化法

9.1	超临界水及其特性	233	9.6.2	反应器的设计	257
9.1.1	超临界水	233	9.7	基于超临界水氧化过程的多联产能源 系统流程	258
9.1.2	超临界水的特性	234	9.7.1	与热量回收系统的耦合	259
9.2	超临界水氧化反应	236	9.7.2	与热量回收系统和蒸发过程的 耦合	260
9.2.1	超临界水氧化	236	9.7.3	与热量回收系统和透平系统的 耦合	261
9.2.2	催化超临界水氧化	237	9.7.4	与热量回收系统及透平系统和蒸发 过程的耦合	263
9.3	超临界水氧化反应动力学、反应路径 和机理	240	9.8	超临界水氧化技术在废水处理中的 应用	264
9.3.1	超临界水氧化反应动力学	240	9.9	超临界水氧化设备的腐蚀与防护	269
9.3.2	超临界水氧化反应路径和机理	242	9.9.1	超临界水氧化反应过程中金属材质腐 蚀的分类	269
9.4	超临界水氧化过程的工艺计算及 流程	244	9.9.2	材质腐蚀的分析方法	270
9.4.1	超临界水氧化的需氧量及反应热	244	9.9.3	国内外超临界水氧化材质腐蚀 试验研究	271
9.4.2	超临界水氧化的工艺流程	245	参考文献		276
9.5	超临界水氧化装置	246			
9.5.1	超临界水氧化试验装置	246			
9.5.2	超临界水氧化工业装置	248			
9.6	反应器	251			
9.6.1	反应器的分类	251			

第10章 焚烧

10.1	焚烧处理流程及其特点	278	10.3	有机废液的热值估算	285
10.1.1	焚烧处理流程	278	10.4	理论空气量与烟气组成	286
10.1.2	有机废液焚烧存在的问题	279	10.4.1	理论空气量	286
10.2	焚烧炉	280	10.4.2	理论烟气组成	286
10.2.1	液体喷射焚烧系统	280	10.4.3	理论烟气焓	286
10.2.2	回转窑焚烧炉	282	10.5	焚烧技术的应用	287
10.2.3	流化床焚烧炉	283	参考文献		288

第11章 电化学法

11.1	电化学反应的原理及其分类	289	11.1.5	微电解法	293
11.1.1	电化学氧化法	290	11.2	电化学反应器	293
11.1.2	电化学还原法	290	11.2.1	二维反应器	293
11.1.3	电气浮法	291	11.2.2	三维反应器	294
11.1.4	电解凝聚法	291	11.3	电解槽	296

11.3.1	电极反应	296	11.4.3	电解凝聚与电解气浮	306
11.3.2	法拉第电解定律	297	11.4.4	电解除毒	309
11.3.3	分解电压与极化现象	297	11.5	电化学技术的发展方向	309
11.3.4	电解槽的分类及构造	298	11.5.1	阳极材料	309
11.3.5	电解槽的工艺设计	301	11.5.2	电化学反应器	310
11.4	电解法在水处理中的应用	302	11.5.3	电化学组合工艺	311
11.4.1	电解氧化法处理废水	302	11.5.4	生物膜电极	311
11.4.2	电解还原法处理无机污染物	303	参考文献		312

第12章 光化学氧化

12.1	光化学氧化的机理	313	12.5	光催化反应器	327
12.1.1	光化学氧化的特点	313	12.5.1	光催化反应器的分类	328
12.1.2	羟基自由基的性质	314	12.5.2	固定床光催化反应器	329
12.1.3	光化学氧化的基本原理	314	12.5.3	管式光催化反应器	331
12.2	光化学氧化系统	316	12.5.4	光导纤维式光催化反应器	333
12.2.1	光源	316	12.5.5	流化床光催化反应器	333
12.2.2	水的紫外光吸收系数和穿透深度	316	12.6	光电催化氧化	337
12.2.3	光强度和剂量	317	12.6.1	光电催化氧化的原理	337
12.2.4	光学材料的应用	317	12.6.2	光电催化氧化反应装置	338
12.2.5	光化学反应器	317	12.7	光催化氧化的应用	338
12.3	光化学氧化与其他工艺的组合	319	12.8	超声氧化	341
12.3.1	UV/O ₃ 氧化反应	319	12.8.1	超声氧化的基本原理	341
12.3.2	UV/H ₂ O ₂ 氧化反应	321	12.8.2	超声降解水中有机污染物效果的影响因素	343
12.3.3	UV/H ₂ O ₂ /O ₃ 氧化反应	322	12.8.3	超声降解水中难降解有机污染物的研究及应用	344
12.3.4	UV/US氧化反应	323	12.9	废水的辐射处理	345
12.4	光催化氧化	324	参考文献		346
12.4.1	均相光催化氧化	324			
12.4.2	非均相光催化氧化	325			

水是生命之源，生产之要，生态之素，生活之基，人类社会的发展一刻也离不开水。在现代社会中，水更是经济可持续发展的必要物质条件。然而，随着社会经济的快速发展、城市化进程的加快，由水污染的加剧而导致的水资源供需矛盾更加突出。在我国，水已成为制约可持续发展的重要因素，水危机比能源危机更为严峻，加强对水和废水的处理与回收利用，实现按质分级用水、减少污染物的排放已成为我国社会生存和可持续发展的重要前提之一。

1.1 中国的水资源现状

我国位于世界最大的大陆，即亚欧大陆的东侧，濒临世界最大的海洋，即太平洋，南北跨纬度 50° ，东西跨经度 60° ，土地面积约为 $960 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，地域辽阔、地形复杂、气候多样、江河众多、资源丰富，是一个人口众多，社会生产力正在迅速发展的国家。

1.1.1 水资源的分布

(1) 河流水系

我国江河众多，流域面积 1000 km^2 以上的河流约 5800 多条，因受地形、气候的影响，在地区上的分布很不均匀。绝大多数河流分布在我国东部气候湿润、多雨的季风区，西北内陆气候干燥、少雨，河流很少，有面积广大的无流区。

按照河川径流循环的形式，河流可分为直接注入海洋的外流河和不与海洋沟通的内陆河两大类。从大兴安岭西麓起，沿东北—西南走向，经内蒙古高原的阴山、贺兰山、祁连山、巴颜喀拉山、唐古拉山、冈底斯山，直至我国西端的国境线，为我国内陆河和外流河的主要分水界。在此分水界以东，除松辽平原、鄂尔多斯台地以及雅鲁藏布江南侧几块面积不大的闭流区外，河流都分别注入太平洋和印度洋。外流河区域约占全国土地总面积的 65%。在分水界以西，除额尔齐斯河下游流经俄罗斯入北冰洋外，其余的河流都属于内陆河，内陆河区域约占全国土地总面积的 35%。我国的河流水系和流域面积如表 1-1 所示。

表 1-1 中国河流水系和流域面积

区域	水系	流域	流域面积/km ²	占全国总面积的比例/%
外 流 河	太平 洋	黑龙江及绥芬河	875342	9.25
		辽河、鸭绿江及沿海诸河	245207	2.59
		海河、滦河	319029	3.37
		黄河	752443	7.95
		淮河及山东沿海诸河	327443	3.46
		长江	1808500	19.11
		浙闽台诸河	241155	2.54
		珠江及沿海诸河	578141	6.11
		元江及澜沧江	240194	2.53
		小计	5387454	56.95
	印度 洋	怒江及滇西诸河	154756	1.63
		雅鲁藏布江及藏南诸河	369588	3.90
		藏西诸河	52930	0.55
		小计	577274	6.10
	北冰洋	额尔齐斯河	50000	0.52
	合计		6014728	63.58
	内 陆 河	内蒙古内陆河	309923	3.27
		河西内陆河	517822	5.47
		准噶尔内陆河	322316	3.40
中亚细亚内陆河		79516	0.84	
塔里木内陆河		1121636	11.85	
青海内陆河		301587	3.18	
羌塘内陆河		701489	7.41	
松花江、藏南闭流河		90353	0.95	
合计		3444642	36.41	
总计		9459370	100.00	

① 外流河流 我国的外流河大都发源于青藏高原东、南部边缘地带；内蒙古高原、黄土高原、豫西山地和云贵高原的东、南地带；长白山地、山东丘陵、东南沿海低山地丘陵的 3 个地带。发源于青藏高原的河流都是源远流长、水量很大，蕴藏着巨大水力资源的巨川大河，主要有长江、黄河、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等。发源于内蒙古高原、黄土高原、豫西山地和云贵高原的河流，主要有黑龙江、辽河、滦河、海河、淮河、珠江、元江等河流，除黑龙江、珠江外，就长度、流域面积和水量而言，均次于源自青藏高原的河流。发源于东部沿海低山地的河流，主要有图们江、鸭绿江、沂沭泗河、钱塘江、瓯江、闽江、九龙江、韩江、东江和北江等河流，这些河流的长度和流域面积都较小，但大部分河流的水量和水力资源都十分丰富。

② 内陆河流 我国内陆河的水系，由于地理、地形和水源补给条件的不同，在水系发育、分布方面存在很大的差异，大致可划分为：内蒙古、河西、准噶尔、中亚细亚、塔里木、青海和羌塘等内陆河流域。内蒙古内陆河地形平缓，河流短促、稀少，存在着大面积无流区。河西、准噶尔、中亚细亚、塔里木内陆河，气候干燥，但地形起伏较大，在祁连山、天山、昆仑山等高山冰雪融化水和雨水的补给下，发育了一些比较长的内陆河，如塔里木河、伊犁河和黑河等。另有许多短小的河流顺山坡流到山麓，消失在山前或盆地的砂砾带中。青海柴达木盆地的地形和高寒气候使盆地四周分布着许多向中央汇集的短小河流，在盆地中广泛分布着盐湖和沼泽。藏北羌塘内陆河流域的特色是星罗棋布地分布着许多湖泊和以湖泊为汇集中心的许多小河。

我国主要江河的长度和流域面积见表 1-2。

(2) 湖泊

我国是一个多湖泊的国家，据初步统计，面积在 1km² 以上的湖泊有 2800 多个，湖泊总面

积达 75610km^2 ，占全国总面积的 0.8% 左右；全国湖泊的储水量约为 $7510 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中淡水的储量为 $2150 \times 10^8 \text{m}^3$ ，仅占湖泊储水量的 28.7% 。

表 1-2 中国主要江河的长度和流域面积

江河名称	长度/km	流域面积/ km^2	江河名称	长度/km	流域面积/ km^2
长江	6300	1808500	辽河	1390	219014
黄河	5464	752443	海河	1090	264617
黑龙江	3101	886950	淮河	1000	269150
澜沧江	2354	164766	滦河	877	54412
珠江	2210	442585	鸭绿江	790	32466
塔里木河	2179	198000	元江	686	75428
雅鲁藏布江	2057	240480	闽江	541	60992
怒江	2013	134882	钱塘江	410	41700
松花江	1956	545594			

注：国外部分的长度和流域面积不计在内。

我国的湖泊大致以大兴安岭、阴山、贺兰山、祁连山、昆仑山、唐古拉山和冈底斯山一线为界，此线的东南为外流湖泊区，以淡水湖为主，此线西北的湖泊为内陆湖泊区，以咸水湖或盐湖为主，但青藏高原还分布着一些淡水湖泊。

我国内流湖泊的总面积为 38150km^2 ，储水量为 $5230 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中淡水的储量为 $390 \times 10^8 \text{m}^3$ ；外流湖泊的总面积为 37460km^2 ，储水量为 $2270 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中淡水的储量为 $1760 \times 10^8 \text{m}^3$ 。外流湖泊的淡水储量为内流湖泊的 4.5 倍。

我国主要湖泊的面积和水量分布见表 1-3。

表 1-3 中国主要湖泊的面积和水量分布

湖泊分布地区	湖水面积/ km^2	占全国湖泊总面积的比例/%	储水量/ 10^8m^3	其中淡水储量/ 10^8m^3	占湖泊淡水总量的比例/%
青藏高原	36560	48.4	5460	880	40.9
东部平原	23430	31.0	820	820	38.2
蒙新高原	8670	11.5	760	20	0.9
东北平原	4340	5.7	200	160	7.4
云贵高原	1100	1.4	240	240	11.2
其他	1510	2.0	30	30	1.4
合计	75610	100.0	7510	2150	100.0

(3) 冰川

我国是世界上中低纬度山岳冰川最多的国家之一，南起云南省的玉龙雪山 (27°N)，北抵新疆的阿尔泰山 ($49^\circ 10'\text{N}$)，纵横数千公里的西部高山，据初步查明现代冰川的面积约为 56500km^2 ，占亚洲中部山岳冰川面积的一半，其中昆仑山冰川覆盖面积最大，其次是喜马拉雅山，最小为阿尔泰山。分布于内陆河区域的冰川面积为 33600km^2 ，约占全国冰川面积的 60% ；分布于外流河区域的冰川面积为 22855km^2 ，约占全国冰川面积的 40% 。全国冰川的总储水量约为 $50000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

我国冰川分为大陆性和季风海洋性两大类型。

① 大陆性冰川 它是在干冷的大陆性气候条件下形成的，具有降水少、气温低、雪线高、消融弱、冰川运动速度慢等特点，主要分布在喜马拉雅山中段的北坡和西段、昆仑山、帕米尔、喀喇昆仑山、天山、阿尔泰山、祁连山和唐古拉山等。

② 季风海洋性冰川 它是在季风海洋性气候条件下形成的，具有气候温和、降水充沛、气温高、消融强烈、冰川运动速度快等特点，主要分布在喜马拉雅山东段和中段、念青唐古拉山东段以及横断山脉部分地区。

我国各山系的冰川面积见表 1-4。冰川是“高山固体水库”，星罗棋布地分布在全国的西北、西南河流的源头。每当湿润年，山区大量的固态积水储存在天然水库中，而遇到干旱年，由于山区晴朗的天空，气温升高，消融增强，冰川释放大量融水以调节因干旱而缺水的河流。所以，对以冰川融水补给为主的河流具有干旱年不缺水，湿润年水量接近或略小于正常年的特点，这是冰川消融水补给占有相当比例的西北山区河流独具的特色。

表 1-4 中国各山系的冰川面积

山脉	主峰高度/m	雪线高度/m	冰川面积/km ²		
			内陆河	外流河	合计
祁连山	5826	4300~5240	1931.5	41	1972.5
阿尔泰山	4374	3000~3200		293.2	293.2
天山	7435	3600~4400	9549.7		9549.7
帕米尔	7579	5500~5700	2258		2258
喀喇昆仑山	8611	5100~5400	3265		3265
昆仑山	7160	4700~5800	11447.1	192	11639.1
喜马拉雅山	8848	4300~6200	989.4	10065.6	11055
羌塘高原	6547	5600~6100	3188		3188
冈底斯山	7095	5800~6000	845.9	1342.1	2188
念青唐古拉山	7111	4500~5700	122.8	7413.2	7536
横断山	7556	4600~5500		1456	1456
唐古拉山	6621	5200~5800		2082	2082
总计			33597.4	22885.1	56482.5
所占比例/%			59.48	40.52	100

1.1.2 水资源量

根据地形地貌特征，可将全国的水资源分布按流域水系划分为 10 大片和 69 个分区，各分区的名称及分区范围如表 1-5 所示。

我国河川年径流量（地表水资源量）居世界第六位，列在巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚之后，平均年径流深 284mm，低于全世界的平均年径流深（314mm），人均占有河川径流量仅为世界人均占有量的 1/4，耕地亩均占有河川径流量仅为世界亩均占有量的 3/4。

根据水利部门水资源评价工作的结果，全国多年平均水资源总量为 $28412 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，总的分布趋势是南多北少，数量相差悬殊。南方的长江、珠江、东南诸河、西南诸河流域片，平均年径流深均超过 500mm，其中，东南诸河超过 1000mm，淮河流域平均年径流深 225mm，黄河、海河、松辽河等流域的平均年径流深 100mm，内陆诸河平均年径流深仅有 32mm。从水资源地表径流模数来看，南方 4 个流域片平均为 $65.4 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，北方 6 个流域片平均为 $8.8 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，南北方相差 7.4 倍。全国平均年地表径流模数最大的是东南诸河流域片，为 $108.1 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，而最小的是内陆诸河流域片，为 $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，两者相差 30 倍。

我国水资源的地区分布与人口、土地资源、矿藏资源的配置很不适应。南方 4 个流域片，耕地占全国的 36%，人口占全国的 54.4%，拥有的水资源占到了全国的 81%，特别是其中的东南诸河流域片，耕地只占全国的 1.8%，人口占全国的 20.8%，人均占有水资源量为全国平均占有量的 15 倍。松辽河、海河、黄河、淮河 4 个流域片，耕地占全国的 45.2%，人口占全国的 38.4%，而水资源仅占全国的 9.6%。

表 1-5 中国的水资源分区

分 区	计算面积/km ²	范 围
全国	9459370	
松花江区	875342	额尔古纳河、嫩江、松花江、黑龙江、乌苏里江、绥芬河
辽河区	245207	辽河、浑太河、鸭绿江、图们江及辽宁沿海诸河
海河区	319029	滦河、海河北系四河、海河南系三河、徒骇、马颊河及冀东沿海诸河
黄河区	752443	黄河及黄河闭流区(鄂尔多斯高原)
淮河区	327443	淮河、沂、沐、泗河及山东沿海诸河
长江区	1808500	金沙江、岷沱江、嘉陵江、乌江、长江、汉江及洞庭湖水系、鄱阳湖水系、太湖水系
珠江区	578141	南北盘江、红柳黔江、郁江、西江、北江、东江、珠江三角洲、韩江和粤东沿海诸河、桂南粤西沿海诸河、海南岛和南海诸岛
东南诸河区	241155	钱塘江、闽江和浙东诸河、浙南诸河、闽东沿海诸河、闽南诸河、台湾诸河
西南诸河区	577274	雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、元江和藏西诸河、藏南诸河、滇西诸河
西北诸河区	3444642	内蒙古内陆诸河(包括河北省内陆河)、河西内陆河、准噶尔内陆河、中亚细亚内陆诸河、塔里木内陆诸河、羌塘内陆诸河、额尔齐斯河

我国大部分地区受季风影响较大，水资源的年际、年内变化大。我国南方地区最大的年降水量与最小的年降水量的比值达 2~4 倍，北方地区达 3~6 倍；最大年径流量与最小年径流量的比值，南方为 2~4 倍，北方为 3~8 倍。南方汛期的降水量可占全年降水量的 60%~80%，北方汛期的降水量可占全年降水量的 80% 以上。大部分水资源量集中在每年的 6~9 月（汛期），以洪水的形式出现，利用困难，而且易造成洪涝灾害。南方是伏秋干旱，北方是冬春干旱，降水量少，河道径流枯竭，甚至河流断流，造成旱灾。

1.2 水的循环

地球上的水总是处于川流不息的循环运动中。根据水循环的路径，水的循环可分为自然循环和社会循环两种。

1.2.1 水的自然循环

由于自然因素造成水由蒸汽转化为液态，又由液态转化为固态，反过来又相应地由固态转化为液态，进而转化为气态。这样，水蒸气→水→冰（或雪）周而复始地循环运动，通过云气运动或大气环流、地面径流、地下渗流、冷凝、冷冻等过程构成水的自然界大循环。影响水自然循环的因素有太阳辐照、冷却、地球重力作用等。水的自然循环如图 1-1 所示。

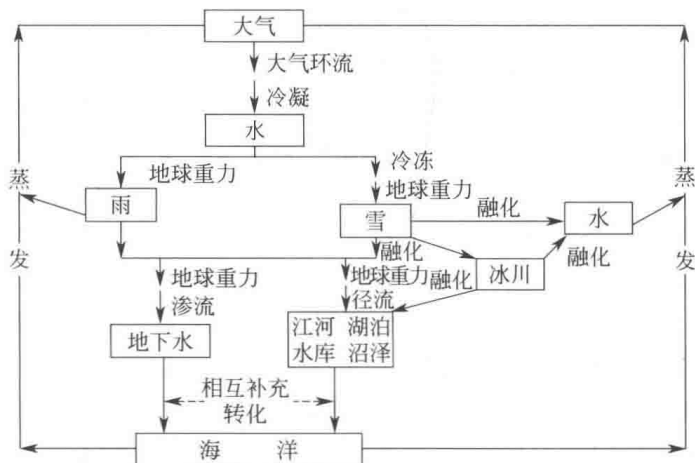


图 1-1 水的自然循环

1.2.2 水的社会循环

由于社会生活和生产活动的需要，人类往往从天然水体中汲取大量的水，按其用途不同可分为生活用水和生产用水。在生活和生产活动过程中随时都有杂质混入，使水体受到不同程度的污染，这构成了相应的生活污水和生产废水，随后又不断地排入天然水体中。这样由于人为因素，通过反复汲取和排放构成了水的社会循环，如图 1-2 所示。

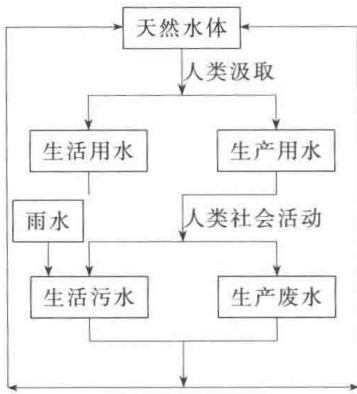


图 1-2 水的社会循环

在以上两个循环的每个环节中，或因自然因素，或因人为因素，致使水体受到不同程度的污染。特别在社会循环中，随着各国工农业生产的发展和用水标准的逐步提高，需水量迅速上升，生活污水和生产废水的排放量也不断增加。如不妥善处理废（污）水而任意排入天然水体中，水体污染将日益加剧，破坏原有自然生态环境引起环境问题，以致造成公害。众所周知的有 1885 年英国泰晤士河因河水水质污染造成水生生物绝迹，1955 年日本由镉引起中毒的“骨痛病”，1956 年汞中毒引起的水俣病等极为严重的公害事件。

其他各国虽未发生如此严重的事件，但因污染造成的损失以及给人类健康带来的威胁也是相当巨大的。据美国环保局报道，1960 年美国因水污染造成粮食损失达 10 亿美元，1960～1970 年期间的统计数据显示全美因水污染而引起的死亡人数为 20 人。在 20 世纪 80 年代中期，美国的 39 个州有 $2.2 \times 10^4 \text{ km}$ 的河流、16 个州约有 $0.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的湖泊、8 个州有 $0.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的河口受到有毒污染物的影响。20 世纪 70 年代以来，尽管我国在水污染防治方面做了很大的努力，但水污染的发展趋势仍未得到有效遏制。由于污（废）水的处理率仅为 40%～50%，相当数量的污（废）水未经处理直接或间接排入水体，严重污染了水资源。2004 年的统计数据表明，全国有 2/3 的湖泊水体存在不同程度的富营养化；2005 年发生的松花江水体的硝基苯污染事件，造成沿流域城市停水数天；2007 年太湖蓝藻暴发，严重污染水质，引起周边城市用水困难。由此可见，虽然经过多年的努力，但我国污（废）水排放引起水体污染的状况目前还没有得到彻底改观，环境保护工作任重而道远。目前，世界各地水体的原有物理、化学和生物特性都已不同程度地发生了变化，水体污染已成为国际社会关注的重大环境问题。

1.3 废水的水质

污染后的水，特别是丧失了使用价值的水统称为废水，废水是人类生产或生活过程中废弃排出的水及径流雨水的总称，包括生活污水、工业废水和流入排水管渠的径流雨水等。在实际应用过程中往往将人们生活过程中产生和排出的废水称为生活污水，主要包括粪便水、洗涤水、冲洗水；将工农业各类生产过程中产生的废水称为生产废水。废水根据不同的分类，称谓很多，也较复杂，例如根据污染物的化学类别称为有机废水和无机废水，前者主要含有机污染物，大多数具有生物降解性；后者主要含无机污染物，一般不具有生物降解性；根据所含毒物的种类不同，可把废水称为含酚废水、含氰废水、含油废水、含汞废水、含铬废水等。还可根据生产废水的部门或生产工艺来划分，如焦化废水、农药废水、杀虫剂废水、洗涤剂废水、食品加工废水、电镀废水、冷却废水等。

目前我国每年的废水排放总量已达 500 多亿吨，并呈逐年上升的趋势，相当于人均排放 40t，其中相当部分未经处理直接排入江河湖库。在全国七大流域中，太湖、淮河、黄河的水质最差，约有 70% 以上的河段受到污染；海河、松辽流域的污染也相当严重，污染河

段占60%以上。河流污染情况严峻,其发展趋势也令人担忧。从全国情况看,污染正从支流向干流延伸,从城市向农村蔓延,从地表向地下渗透,从区域向流域扩展。据检测,目前全国多数城市的地下水都受到了不同程度的点状和面状污染,且有逐年加重的趋势。在全国118个城市中,64%的城市地下水受到严重污染,33%的城市地下水受到轻度污染。从地区分布来看,北方地区比南方地区更为严重。日益严重的水污染不仅降低了水体的使用功能,而且进一步加剧了水资源短缺的矛盾,很多地区由资源性缺水转变为水质性缺水,对我国正在实施的可持续发展战略带来了严重影响,而且还严重威胁到城市居民的饮水安全和人民群众的健康。

水质是指水与水中杂质或污染物共同表现的综合特性。水质指标表示水中特定杂质或污染物的种类和数量,是判断水质好坏、污染程度的具体衡量尺度。为了满足水的特定目的或用途,对水中所含污染物的种类与浓度的限制和要求即为水质标准。

1.3.1 生活污水和城市污水的水质

(1) 生活污水和城市污水水质

生活污水主要来自家庭、商业、机关、学校、旅游服务业及其他城市公用设施。城市污水是城市中的生活污水和排入城市下水道的工业废水的总称,包括生活污水、工业废水和降水产生的部分城市地表径流。因城市功能、工业规模与类型的差异,在不同城市的城市污水中,工业废水所占的比重会有所不同,对于一般性质的城市,其工业废水在城市污水中的比重大约为10%~50%。由于城市污水中工业废水只占一定的比例,并且工业废水需要达到《污水排入城市下水道水质标准》后才能排入城市下水道(超过标准的工业废水需要在工厂内经过适当的预处理,除去对城市污水处理厂运行有害或城市污水处理厂处理工艺难以去除的污染物,如酸、碱、高浓度悬浮物、高浓度有机物、重金属等),因此,城市污水的主要水质指标有着和生活污水相似的特性。

生活污水和城市污水水质浑浊,新鲜污水的颜色呈黄色,随着在下水道中发生厌氧分解,污水的颜色逐渐加深,最终呈黑褐色,水中夹带的部分固体杂质,如卫生纸、粪便等,也分解或液化成细小的悬浮物或溶解物。

生活污水和城市污水中含有一定量的悬浮物,悬浮物浓度一般在100~350mg/L范围内,常见浓度为200~250mg/L。悬浮物成分包括漂杂物、无机泥沙和有机污泥等。悬浮物中所含有机物大约占生活污水和城市污水中有机物总量的30%~50%。

生活污水中所含有机污染物的主要来源是人类的食物消化分解产物和日用化学品,包括纤维素、油脂、蛋白质及其分解产物、氨氮、洗涤剂成分(表面活性剂、磷)等,生活与城市活动中所使用的各种物质几乎都可以在污水中找到其相关成分。生活污水和城市污水所含有机污染物的生物降解性较好,适于生物处理。生活污水和城市污水的有机物含量为:一般浓度范围为 $BOD_5=100\sim300\text{mg/L}$, $COD=250\sim600\text{mg/L}$;常见浓度为 $BOD_5=180\sim250\text{mg/L}$, $COD=300\sim500\text{mg/L}$ 。由于工业废水中污染物的含量一般都高于生活污水,工业废水在城市污水中所占比例越大,有机物的浓度,特别是COD的浓度也越高。

生活污水中含有氮、磷等植物生长的营养元素。新鲜生活污水中氮的主要存在形式是氨氮和有机氮,其中以氨氮为主,它主要来自食物消化分解产物。生活污水和城市污泥的氨氮浓度(以N计)一般范围是15~50mg/L,常见浓度是30~40mg/L。生活污水中的磷主要来自合成洗涤剂(合成洗涤剂中所含的聚合磷酸盐助剂)和食物消化分解产物,主要以无机磷酸盐形式存在。生活污水和城市污水的总磷浓度(以P计)一般范围是4~10mg/L,常见浓度是5~8mg/L。