

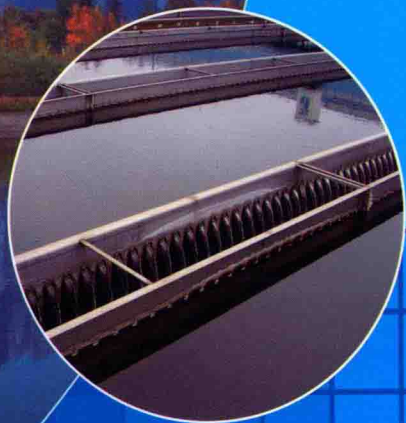
水处理过程与设备丛书  
SHUICHULI GUOCHENG YU SHEBEI CONGSHU



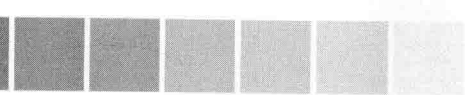
# 物理法水处理 过程与设备

廖传华 米展 周玲 李志强 编著

WULIFA  
SHUICHULI  
GUOCHENG  
YU  
SHEBEI



化学工业出版社



中国石化出版社  
SHUICHULI GUOCHENG YU SHEBEI CONGSHU

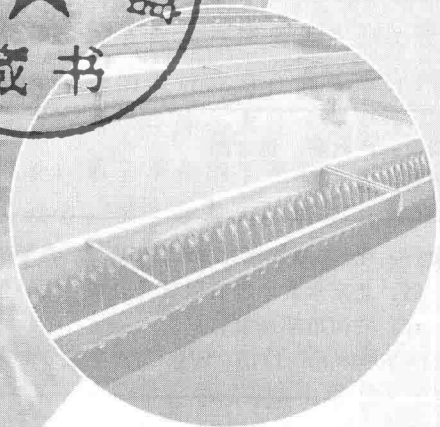
水处理过程与设备丛书

SHUICHULI GUOCHENG YU SHEBEI CONGSHU



# 物理法水处理 过程与设备

廖传华 米展 周玲 李志强 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，本书将物理法水处理工艺分为格栅、筛网、沉砂、调质等预处理工艺和澄清、沉淀、气浮、过滤、萃取、吸附、膜分离、蒸发浓缩、结晶、吹脱与汽提等，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，也可作为环境科学与工程、市政工程等专业师生的教学参考书。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

物理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 978-7-122-26162-5

I. ①物… II. ①廖… III. ①水处理-物理处理-工艺  
学②水处理-物理处理-设备 IV. ①TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 015024 号

---

责任编辑: 卢萌萌 仇志刚  
责任校对: 陈 静

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 22 $\frac{1}{4}$  字数 606 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，严重影响人类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，本书系统介绍了物理法水处理工艺及相关设备。所谓物理处理方法，一般是在常温常压条件下，采用物理或机械的方法，如水质水量的调节、筛滤、澄清、沉淀、气浮等，对废水进行预处理，除去废水中不溶解的悬浮固体（包括油膜、油品）和漂浮物，为二级处理做准备。物理处理方法的最大优点是在处理过程中不改变物质的化学性质，设备简单，操作方便，运行费用低，分离效果良好，因此应用极为广泛，但物理法的缺点是仅能去除水中的固体悬浮物和漂浮物，COD的去除率一般只有30%左右，对水中的溶解性杂质基本无法去除。

根据采用的方法不同，本书将物理法水处理工艺分为格栅、筛网、沉砂、调质等预处理工艺和澄清、沉淀、气浮、过滤、萃取、吸附、膜分离、蒸发浓缩、结晶、吹脱与汽提等，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。

全书共分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章介绍了格栅、筛网、沉砂、均质等预处理工艺及相关设备的设计与选型；第3章介绍了澄清工艺的基本原理及相关设备的设计方法；第4章介绍了沉淀法水处理工艺的基本原理及相关设备的设计；第5章介绍了气浮法水处理工艺及相关设备的设计；第6章介绍了过滤法水处理工艺及相关设备；第7章介绍了萃取法水处理工艺及相关设备；第8章介绍了吸附法水处理工艺及相关设备；第9章介绍了膜分离法水处理工艺及相关设备；第10章介绍了蒸发浓缩处理工艺及相关设备；第11章介绍了结晶法水处理工艺及相关设备；第12章介绍了吹脱与汽提的基本方法及相关设备。

全书由南京工业大学廖传华、米展、南京凯盛国际工程有限公司周玲和南京三方化工设备监理有限公司李志强编著，其中第1章、第7章、第8章、第10章由廖传华编著；第2章、第3章、第4章、第6章由米展编著，第5章、第9章由周玲编著，第11章、第12章由李志强编著。全书由廖传华统稿。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、南京工业大学陈海军副教授对本书的编写

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。

本书的编写历时四年，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。

编者

— 2016年1月



# 目录

## CONTENTS

<b>第1章 绪论</b> .....	
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 .....	5
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
1.5 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 .....	15
1.6 废水的物理处理方法 .....	16
<b>第2章 预处理</b> .....	
2.1 格栅 .....	17
2.1.1 格栅的分类 .....	17
2.1.2 格栅的设置 .....	18
2.1.3 格栅除渣机 .....	19
2.1.4 设计参数与计算公式 .....	25
2.1.5 栅渣 .....	27
2.1.6 操作管理 .....	27
2.2 筛网 .....	28
2.2.1 作用与设置 .....	28
2.2.2 筛网设备 .....	28
2.3 沉砂 .....	31
2.3.1 作用与设置 .....	31
2.3.2 平流式沉砂池 .....	31
2.3.3 曝气沉砂池 .....	33
2.3.4 旋流式沉砂池 .....	34
2.3.5 操作管理 .....	34
2.3.6 除砂与砂水分离设备 .....	35
2.4 均质与水量调节 .....	36
2.4.1 调节池的分类 .....	36
2.4.2 调节池的位置设置 .....	37
2.4.3 调节池的容积计算 .....	38
2.4.4 设计参数 .....	38
参考文献 .....	39
<b>第3章 澄清</b> .....	
3.1 澄清池的特点与类型 .....	40
3.1.1 澄清池的特点 .....	40
3.1.2 澄清池的类型 .....	41
3.1.3 澄清池的主要设计参数 .....	41
3.2 机械搅拌澄清池 .....	42
3.2.1 机械搅拌澄清池的结构 .....	42
3.2.2 机械搅拌澄清池的类型 .....	44
3.2.3 机械搅拌澄清池设计要点 .....	46
3.2.4 机械搅拌澄清池的设计计算内容 .....	47
3.2.5 运行管理 .....	51
3.3 水力循环澄清池 .....	52
3.3.1 水力循环澄清池的特点 .....	52
3.3.2 水力循环澄清池设计要点 .....	54
3.3.3 水力循环澄清池的设计计算内容 .....	54



3.3.4 运行管理 .....	57	3.4.6 脉冲澄清池的运行管理 .....	63
<b>3.4 脉冲澄清池</b> .....	57	<b>3.5 悬浮澄清池</b> .....	64
3.4.1 脉冲澄清池的组成及特点 .....	57	3.5.1 悬浮澄清池的分类 .....	64
3.4.2 脉冲发生器的类型 .....	58	3.5.2 悬浮澄清池设计要点 .....	65
3.4.3 其他类型的脉冲澄清池 .....	60	3.5.3 悬浮澄清池的计算内容 .....	67
3.4.4 脉冲澄清池设计要点 .....	62	3.5.4 运行管理 .....	69
3.4.5 钟罩脉冲发生器的设计内容 .....	62	<b>参考文献</b> .....	70

## 第4章 沉淀 .....

<b>4.1 沉淀的原理与分类</b> .....	71	4.4.5 操作管理 .....	93
<b>4.2 颗粒的沉淀特性</b> .....	72	<b>4.5 清泥设备</b> .....	95
4.2.1 自由沉淀 .....	72	4.5.1 刮泥机和浓缩机 .....	95
4.2.2 絮凝沉淀 .....	75	4.5.2 吸泥机 .....	96
4.2.3 拥挤沉淀 .....	76	<b>4.6 隔油池</b> .....	96
<b>4.3 沉淀池的颗粒去除特性</b> .....	78	4.6.1 平流式隔油池 .....	97
4.3.1 理想沉淀池的工作模型 .....	78	4.6.2 斜板隔油池 .....	98
4.3.2 理想沉淀池对颗粒的去除率 .....	79	<b>4.7 离心分离</b> .....	99
4.3.3 理想沉淀池中特定颗粒沉速与表面负荷的关系 .....	79	4.7.1 离心分离的原理 .....	99
4.3.4 影响沉淀池沉淀效果的因素 .....	80	4.7.2 悬浮颗粒离心分离径向运动速度 .....	100
4.3.5 絮凝沉淀的沉淀池颗粒去除率 .....	81	4.7.3 离心分离设备 .....	100
<b>4.4 沉淀池</b> .....	82	<b>4.8 磁力分离法</b> .....	105
4.4.1 平流式沉淀池 .....	82	4.8.1 原理 .....	105
4.4.2 竖流式沉淀池 .....	86	4.8.2 磁分离技术的特点 .....	106
4.4.3 辐流式沉淀池 .....	88	4.8.3 磁分离装置 .....	106
4.4.4 斜板(管)式沉淀池 .....	90	4.8.4 磁分离技术的应用 .....	108
		<b>参考文献</b> .....	108

## 第5章 气浮 .....

<b>5.1 气浮的理论基础</b> .....	109	5.4.3 压力溶气罐 .....	121
5.1.1 悬浮物与气泡的附着条件 .....	109	5.4.4 溶气释放器 .....	122
5.1.2 气泡的分散度和稳定性 .....	111	5.4.5 气浮池 .....	123
5.1.3 乳化现象与脱乳 .....	112	5.4.6 刮渣机 .....	124
<b>5.2 气浮法的特性</b> .....	113	5.4.7 运行管理 .....	124
5.2.1 气浮法的特点 .....	113	<b>5.5 其他气浮法</b> .....	125
5.2.2 气浮法的适用对象 .....	113	5.5.1 电解气浮法 .....	125
5.2.3 气浮法的分类 .....	113	5.5.2 射流气浮法 .....	125
<b>5.3 加压溶气气浮工艺</b> .....	114	5.5.3 扩散板曝气气浮法 .....	126
5.3.1 加压溶气气浮法的工艺组成及特点 .....	114	5.5.4 叶轮气浮法 .....	126
5.3.2 加压溶气气浮法的工艺计算 .....	116	<b>5.6 气浮法的应用</b> .....	128
<b>5.4 气浮系统的主要设备</b> .....	119	5.6.1 气浮法在废水处理中的应用 .....	128
5.4.1 加压水泵 .....	119	5.6.2 气浮法在给水处理中的应用 .....	128
5.4.2 气浮设备 .....	119	<b>参考文献</b> .....	130

## 第6章 过滤

6.1 过滤的基本原理及其应用	131	6.5.2 滤池的冲洗方式	154
6.1.1 过滤的分类	131	6.5.3 影响滤池冲洗的有关因素	155
6.1.2 过滤的要素	132	6.5.4 滤池冲洗水的排除与供给	158
6.1.3 快速过滤的机理	133	6.5.5 表面冲洗装置	160
6.1.4 过滤在水处理中的应用	134	6.5.6 管廊布置	160
6.2 过滤的基本方程式及操作方式	134	6.6 普通快滤池设计计算	161
6.2.1 过滤基本方程式	134	6.7 其他滤池	165
6.2.2 恒压过滤与恒速过滤	138	6.7.1 虹吸滤池	165
6.3 快滤池的结构与工作过程	141	6.7.2 重力式无阀滤池	167
6.3.1 普通快滤池的结构	141	6.7.3 移动冲洗罩滤池	169
6.3.2 快滤池的工作过程与周期	141	6.7.4 上向流滤池	171
6.3.3 滤池的水力损失	142	6.7.5 V形滤池	171
6.3.4 滤池的过滤方式	144	6.7.6 压力滤池	173
6.3.5 滤层内的杂质分布情况	146	6.7.7 操作管理	173
6.4 滤料及承托层	147	6.8 表层过滤及过滤机	174
6.4.1 滤料	147	6.8.1 过滤机	174
6.4.2 承托层	149	6.8.2 过滤机的生产能力	180
6.5 配水系统与滤池冲洗	150	6.8.3 过滤机的选型	182
6.5.1 滤池配水系统	150	参考文献	184

## 第7章 萃取

7.1 概述	185	7.5.2 混合-澄清槽	200
7.1.1 萃取过程的分类	185	7.5.3 塔式萃取设备	201
7.1.2 液液萃取操作的特点	186	7.5.4 卧式提升搅拌萃取器	205
7.2 液液萃取的相平衡与物料衡算	186	7.5.5 离心萃取器	205
7.2.1 三角形相图	186	7.5.6 高压静电萃取澄清槽	206
7.2.2 三角形相图中的相平衡关系	187	7.5.7 萃取法的应用	206
7.2.3 三角形相图中的杠杆定律	189	7.6 液液萃取设备计算	207
7.3 液液萃取过程的流程和计算	189	7.6.1 液液萃取设备的流动特性和液泛	207
7.3.1 液液萃取的操作流程	189	7.6.2 萃取效率	208
7.3.2 单级萃取的流程和计算	191	7.6.3 萃取塔塔高的计算	208
7.3.3 多级错流萃取的流程和计算	192	7.7 超临界二氧化碳流体萃取	210
7.3.4 多级逆流萃取的流程和计算	194	7.7.1 超临界二氧化碳的性质	210
7.4 液液萃取过程萃取剂的选择	197	7.7.2 超临界二氧化碳流体的溶解性能及影响因素	211
7.4.1 溶剂的选择性与选择性系数	197	7.7.3 超临界二氧化碳流体萃取处理污染物的工艺流程	212
7.4.2 萃取剂与稀释剂的互溶度	197	7.7.4 超临界二氧化碳萃取在污染物治理领域的应用	214
7.4.3 萃取剂的物性	198	参考文献	220
7.4.4 萃取剂的回收难易	198		
7.4.5 其他因素	198		
7.5 液液萃取设备	199		
7.5.1 萃取设备的分类	199		



## 第8章 吸附

8.1 吸附现象与吸附剂	221	8.5.1 间歇吸附	236
8.1.1 吸附现象	221	8.5.2 固定床吸附	238
8.1.2 吸附的分类	221	8.5.3 移动床吸附	241
8.2 吸附平衡和吸附速率	222	8.5.4 流化床吸附	242
8.2.1 吸附平衡	223	8.6 活性炭吸附	243
8.2.2 吸附速率	223	8.6.1 可以被活性炭吸附的物质	244
8.2.3 吸附速率的测定	224	8.6.2 粉末活性炭预处理与应急处理	244
8.3 吸附容量与吸附等温线	225	8.6.3 颗粒活性炭吸附工艺	245
8.3.1 吸附容量	225	8.6.4 活性炭吸附处理设备	247
8.3.2 吸附等温线	225	8.6.5 活性炭的再生	248
8.3.3 吸附的影响因素	228	8.7 吸附在水处理中的应用	248
8.4 吸附剂及其再生	230	8.7.1 活性炭用于饮用水净化	248
8.4.1 吸附剂	230	8.7.2 吸附法处理工业废水	250
8.4.2 吸附剂的再生	233	参考文献	252
8.5 吸附工艺与设计	236		

## 第9章 膜分离技术

9.1 概述	253	9.4 电渗析	282
9.1.1 几种主要的膜分离过程	253	9.4.1 电渗析原理	283
9.1.2 膜分离过程的特点	254	9.4.2 离子交换膜及其作用机理	285
9.1.3 膜分离的表征参数	254	9.4.3 浓差极化与极限电流密度	286
9.1.4 膜材料与分离膜	255	9.4.4 电渗析器的构造与组成	288
9.1.5 膜组件	256	9.4.5 电渗析的工艺流程	290
9.2 反渗透与纳滤	258	9.4.6 电渗析器的工艺参数	291
9.2.1 反渗透现象和渗透压	258	9.4.7 电渗析工艺设计与计算	292
9.2.2 反渗透原理	259	9.4.8 电渗析技术的应用	293
9.2.3 影响反渗透的因素	260	9.5 扩散渗析	295
9.2.4 纳滤原理	260	9.5.1 扩散渗析的原理	295
9.2.5 反渗透膜与膜组件	261	9.5.2 扩散渗析的应用	296
9.2.6 反渗透工艺流程	264	9.6 液膜分离技术	296
9.2.7 工艺设计	266	9.6.1 液膜及其类型	296
9.2.8 反渗透膜的污染及其防治	267	9.6.2 液膜分离的传质机理	298
9.2.9 反渗透和纳滤膜的应用	268	9.6.3 流动载体的类型、特性及选择	299
9.3 超滤与微滤	272	9.6.4 液膜分离流程	300
9.3.1 超滤与微滤的分离原理	273	9.6.5 液膜分离技术的应用	300
9.3.2 超滤膜与微滤膜	273	9.7 膜分离技术的发展趋势	302
9.3.3 超滤的操作方式	277	9.7.1 技术上的发展趋势	302
9.3.4 微滤的操作方式	278	9.7.2 应用上的发展趋势	303
9.3.5 影响渗透通量的因素	279	参考文献	303
9.3.6 超滤技术的应用	279		

## 第10章 蒸发浓缩

10.1 蒸发过程的优缺点及其工艺流程	304	10.1.1 蒸发过程的优缺点	304
---------------------	-----	-----------------	-----

10.1.2	蒸发过程的工艺流程	305	10.3.1	并流(顺流)加料法的蒸发流程	312
10.2	蒸发设备的型式	305	10.3.2	逆流加料法的蒸发流程	313
10.2.1	蒸发设备的选型	306	10.3.3	平流加料法的蒸发流程	313
10.2.2	自然循环型蒸发器	306	10.4	蒸发器的设计	314
10.2.3	强制循环蒸发器	308	10.4.1	蒸发器的设计程序	314
10.2.4	单程型蒸发器(液膜式蒸发器)	308	10.4.2	自然循环蒸发器的设计	314
10.2.5	浸没燃烧蒸发器	312	参考文献		314
10.3	多效蒸发的操作流程	312			

## 第 11 章 结晶

11.1	结晶的基本原理	315	11.4	工业结晶方法与设备	319
11.1.1	基本概念	315	11.4.1	结晶方法的分类	319
11.1.2	结晶的方法	316	11.4.2	结晶器的分类	319
11.2	结晶过程的相平衡	316	11.4.3	结晶设备的选型	320
11.2.1	相平衡与溶解度	316	11.4.4	使用与注意事项	323
11.2.2	溶液的过饱和与介稳区	317	11.5	结晶过程的产量计算	324
11.3	结晶动力学	317	11.5.1	结晶过程的物料衡算	324
11.3.1	晶核的形成	317	11.5.2	物料衡算式的应用	324
11.3.2	晶体的成长	318	11.6	其他结晶方法	325
11.3.3	杂质对结晶过程的影响	319	参考文献		326

## 第 12 章 吹脱与汽提

12.1	吹脱	327	12.4	板式塔	335
12.1.1	吹脱的原理	327	12.4.1	板式塔的结构	335
12.1.2	吹脱设备	328	12.4.2	塔板类型	335
12.1.3	吹脱效果的影响因素	329	12.4.3	浮阀塔的设计计算	337
12.1.4	吹脱尾气的最终处置	330	12.5	真空除气器	340
12.2	汽提	330	12.5.1	构造	340
12.3	填料塔	331	12.5.2	系统设计	341
12.3.1	填料塔的结构	331	12.6	应用	343
12.3.2	填料塔的特点	332	12.6.1	含酚废水的处理	343
12.3.3	填料塔的内件	333	12.6.2	含硫废水的处理	343
12.3.4	填料塔的设计计算	333	参考文献		344



## 第1章

# 绪论



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  $50^{\circ}$ ，东西跨纬度  $60^{\circ}$ ，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  $1000 \text{ km}^2$  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有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 所列。

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。

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 <sup>2</sup>	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、台湾诸河	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	6.1	
	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	

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 1km<sup>2</sup> 以上的湖泊有 2800 多个，湖泊总面积达 75610km<sup>2</sup>，占全国总面积的 0.8% 左右；全国湖泊的储水量约为 7510×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>，其中淡水的储量为 2150×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>，仅占湖泊储水量的 28.7%。

表 1-2 中国的主要江河的长度和流域面积

江河名称	长度/km	流域面积/km <sup>2</sup>	江河名称	长度/km	流域面积/km <sup>2</sup>
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，以淡水湖分布为主，此线西北的湖泊为内陆湖泊区，以咸水湖或盐湖分布为主，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<sup>2</sup>，储水量为 5230×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>，其中淡水的储量为 390×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>；外流湖泊的面积为 37460km<sup>2</sup>，储水量为 2270×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>，其中淡水的储量为 1760×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。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 <sup>2</sup>	占全国湖泊总面积的 比例/%	储水量 /×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	其中淡水储量 /×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	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°10'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<sup>2</sup>，占亚洲中部山岳冰川面积的一半，其中以昆仑山冰川覆盖面积为最大，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<sup>2</sup>，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<sup>2</sup>，约占全国冰川面积的 40%。全国冰川的总储水量约为 50000×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

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发育的，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。湿润年，山区大量的固态积水贮存在天然水库中，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,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 <sup>2</sup>		
			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	3600~4 400	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。

表 1-5 中国的水资源分区

分 区	计算面积/km <sup>2</sup>	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、沂河、沐河、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),人均占有河川年径流量仅为世界人均占有量的 1/4,耕地亩均占有河川年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。从水质



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%,人口为全国的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,耕地为全国的45.2%,人口为全国的38.4%,而水资源仅为全国的9.6%。

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,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。

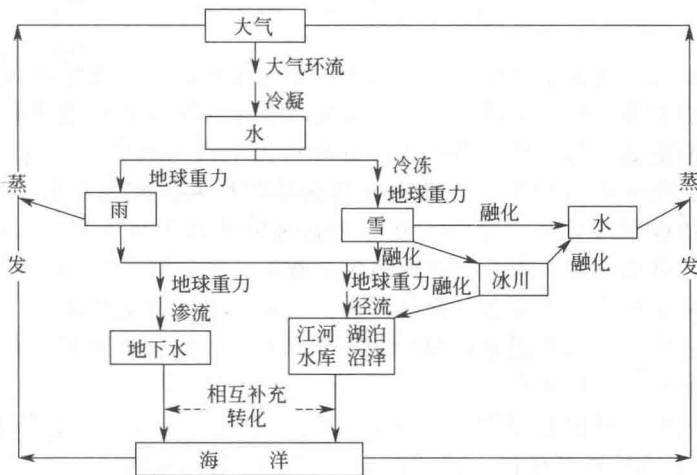


图 1-1 水的自然循环

### 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，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。

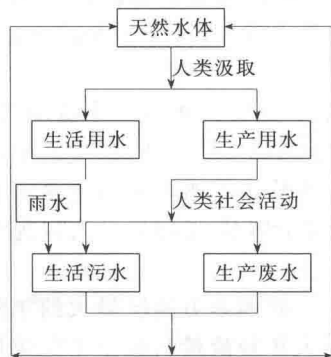


图 1-2 水的社会循环

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。特别是在社会循环中，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，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 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都是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可观的。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 年至 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后的水统称为废水，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《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)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占生活污水和城市污水中总有机物总量的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 $BOD_5 = 100 \sim 300 \text{mg/L}$ ,  $COD = 250 \sim 600 \text{mg/L}$ ; 常见浓度为 $BOD_5 = 180 \sim 250 \text{mg/L}$ ,  $COD = 300 \sim 500 \text{mg/L}$ 。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, 主要来自食物消化分解产物。生活污水和城市污水的氨氮浓度(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。

生活污水和城市污水中还含有多种微生物, 包括病原微生物和寄生虫卵等。表1-6所示是典型的城市污水和生活污水的水质。

表 1-6 典型的城市污水和生活污水水质

单位: mg/L

指标	一般浓度范围	常见浓度范围	指标	一般浓度范围	常见浓度范围
悬浮物	100~300	200~250	氨氮(以N计)	15~50	30~40
COD	250~600	300~500	总磷(以P计)	4~10	5~8
$BOD_5$	100~300	180~250			