

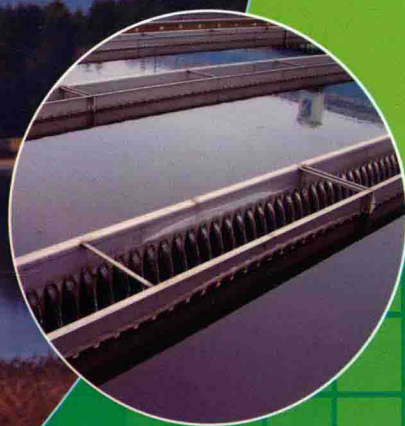
水处理过程与设备丛书
SHUICHULI GUOCHENG YU SHEBEI CONGSHU



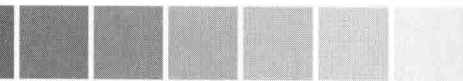
生物法水处理 过程与设备

廖传华 韦 策 赵清万 周 玲 编著

SHENGWUFA
SHUICHULI
GUOCHENG
YU
SHEBEI



化学工业出版社



水处理过程与设备丛书

SHUICHULI GUOCHENG YU SHEBEI CONGSHU



生物法水处理 过程与设备

廖传华 韦 策 赵清万 周 玲 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，系统介绍了生物法水处理工艺及相关设备，根据采取的技术措施的不同，生物法水处理工艺分为好氧和厌氧两类处理工艺，这两类处理工艺又各自包括活性污泥法、生物膜法等工艺。本书分别对好氧活性污泥法、好氧生物膜法、厌氧活性污泥法、厌氧生物膜法等各种生物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及环保公司的工程设计、调试人员的参考用书，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

生物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 978-7-122-26263-9

I. ①生… II. ①廖… III. ①水处理-生物处理
IV. ①TU991.2②X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 025814 号

责任编辑: 卢萌萌 仇志刚
责任校对: 王素芹

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 20 $\frac{3}{4}$ 字数 567 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

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，本书系统介绍了生物法水处理工艺及相关设备。生物处理方法是采取一定的人工技术措施，创造有利于微生物生长、繁殖的良好环境，加速微生物的增殖及其新陈代谢的生理功能，从而使废水中的有机性污染物得以降解、去除，同时通过生物絮凝去除胶体颗粒的废水处理技术。根据采取的技术措施的不同，生物法水处理工艺分为好氧和厌氧两类处理工艺，这两类处理工艺又各自包括活性污泥法、生物膜法等工艺。本书分别对好氧活性污泥法、好氧生物膜法、厌氧活性污泥法、厌氧生物膜法等各种生物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11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生物处理方法；第2章介绍了有机废水好氧生物处理的基本生物过程及其分类；第3章介绍了好氧活性污泥法处理工艺；第4章介绍了几种新型好氧活性污泥法处理工艺；第5章介绍了几种好氧生物膜法处理技术；第6章介绍了有机废水厌氧生物处理的基本生物过程及其分类；第7章介绍了厌氧活性污泥法处理工艺及相关设备；第8章介绍了厌氧生物膜法处理工艺及相关设备；第9章介绍了厌氧生物处理系统的设计及其运行管理；第10章介绍了有机废水生物脱氮除磷技术；第11章介绍了废水的自然生物处理系统。

本书由南京工业大学廖传华、韦策，南京三方化工设备监理有限公司赵清万，南京凯盛国际工程有限公司周玲编著，其中第1章、第2章、第6章、第9章由廖传华编著，第3章、第4章、第5章由韦策编著，第7章、第8章由赵清万编著，第10章、第11章由周玲编著。

全书的编著工作得到了南京工业大学副书记朱跃钊教授、南京工业大学副校长巩建鸣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许开明、南京工业大学耿文华教授及吕浩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。



目录

CONTENTS

第1章 绪论

1.1 中国的水资源现状	001	1.4 水污染物排放标准的分类与制定	
1.1.1 水资源的分布	001	原则	009
1.1.2 水资源量	004	1.5 废水处理工艺	015
1.2 水的循环	005	1.5.1 废水处理程度的分级	015
1.2.1 水的自然循环	005	1.5.2 工业废水的处理方式	016
1.2.2 水的社会循环	006	1.6 废水的生物处理方法	016
1.3 废水的水质	006	1.6.1 有机物的生物降解	017
1.3.1 生活污水和城市污水的水质及		1.6.2 微生物的代谢	018
计算	007	1.6.3 生物降解的环境条件	018
1.3.2 工业废水的水质	008	1.6.4 生物处理技术的分类	019

第2章 有机废水的好氧生物处理

2.1 废水好氧生物处理的基本生物		分类	023
过程	021	2.2.1 好氧活性污泥法	023
2.1.1 好氧生物处理的生化反应	021	2.2.2 好氧生物膜法	026
2.1.2 好氧生物处理过程中的代谢过程	022	2.2.3 氧化塘法	027
2.1.3 有机物好氧生物降解过程	022	2.2.4 氮和磷的生物去除工艺	028
2.1.4 好氧生物处理中合成代谢与分解代谢		2.3 好氧生物处理的影响因素与条件	028
的关系	023	2.4 好氧生物技术处理高浓度难降解	
2.1.5 废水好氧生物处理途径	023	有机废水的研究方向	029
2.2 废水好氧生物处理的基本方法与		参考文献	030

第3章 好氧活性污泥法处理工艺

3.1 好氧活性污泥法的基本原理	031	3.2.1 活性污泥法的工艺流程	034
3.1.1 好氧活性污泥处理系统的基本		3.2.2 活性污泥的性质与性能指标	035
流程	031	3.2.3 活性污泥法的基本工艺参数及影响	
3.1.2 活性污泥的形态与组成	032	因素	038
3.1.3 活性污泥净化反应过程	032	3.2.4 活性污泥法的主要运行方式	040
3.2 活性污泥法的工艺过程及其运行		3.2.5 氧气曝气	043
方式	033	3.3 曝气池	044

3.3.1 曝气池的类型与构造	044	3.5 曝气设备	057
3.3.2 曝气的原理与理论基础	047	3.5.1 鼓风曝气装置	057
3.3.3 氧转移速率的影响因素	049	3.5.2 机械曝气装置	064
3.3.4 氧转移速率与供气量的计算	051	3.5.3 曝气装置传氧速率的计算	068
3.4 活性污泥系统的工艺计算与设计	051	3.6 活性污泥工艺的控制与运行	070
3.4.1 设计的基础资料与工艺流程的 选定	052	3.6.1 活性污泥的培养与驯化	070
3.4.2 普通曝气池的计算与设计	052	3.6.2 正常运行工艺控制	071
3.4.3 二次沉淀池的计算与设计	055	3.6.3 活性污泥系统的问题及解决对策	072
3.4.4 污泥回流系统的计算与设计	056	参考文献	074

第4章 新型好氧活性污泥法处理工艺

4.1 氧化沟工艺	075	4.3.3 SBR 过程的动力学分析	092
4.1.1 氧化沟的构造	075	4.3.4 SBR 活性污泥法的设计	093
4.1.2 氧化沟的工作原理	076	4.3.5 滗水器	095
4.1.3 氧化沟的基本特征	076	4.4 SBR 工艺的发展	097
4.1.4 氧化沟的形式	077	4.4.1 间歇循环延时曝气系统 (ICEAS)	097
4.1.5 氧化沟的充氧设备	082	4.4.2 CASS 工艺	099
4.1.6 氧化沟的设计计算与技术参数	083	4.4.3 CAST 工艺	102
4.1.7 氧化沟的优缺点及其应用	085	4.4.4 DAT-IAT 工艺	103
4.2 吸附-生物降解工艺	086	4.4.5 一体化活性污泥系统	106
4.2.1 工艺流程及其特征	086	4.4.6 射流式 SBR 工艺	110
4.2.2 A-B 法的应用	087	4.4.7 改良型间歇活性污泥过程	111
4.3 序批式间歇反应器工艺	088	4.4.8 SBR 工艺对高浓度难降解有机废水 的适应性	113
4.3.1 SBR 活性污泥法的工艺流程及其 特征	088	参考文献	113
4.3.2 SBR 的运行过程	090		

第5章 好氧生物膜法处理技术

5.1 好氧生物膜法的基本原理	114	5.3.2 好氧生物转盘的工艺特征	138
5.1.1 生物膜的形成过程	114	5.3.3 好氧生物转盘的工艺流程与 组合	138
5.1.2 生物膜的结构	115	5.3.4 好氧生物转盘的设计计算	139
5.1.3 生物膜处理法的主要特征	115	5.4 生物接触氧化法处理工艺	142
5.2 好氧生物滤池工艺	116	5.4.1 生物接触氧化池的构造与形式	143
5.2.1 好氧生物滤池的基本原理	116	5.4.2 生物接触氧化法处理工艺	145
5.2.2 普通生物滤池的构造	117	5.4.3 生物接触氧化法的特征	146
5.2.3 普通生物滤池的设计与计算	119	5.4.4 生物接触氧化池的设计计算	146
5.2.4 高负荷生物滤池	122	5.5 好氧生物流化床工艺	148
5.2.5 塔式生物滤池	127	5.5.1 载体颗粒流化原理	148
5.2.6 淹没式生物滤池	130	5.5.2 生物流化床的构造	149
5.2.7 影响生物滤池功能的主要因素	135	5.5.3 生物流化床的工艺类型	150
5.2.8 前处理——Actiflo 工艺	136	5.5.4 生物流化床的优点及问题	151
5.3 好氧生物转盘工艺	137	5.6 生物膜法的运行管理	152
5.3.1 好氧生物转盘的构造	137		

5.6.1	生物膜的培养与驯化	152	5.7.3	膜的技术性能及参数	157
5.6.2	日常管理	152	5.7.4	膜生物反应器的控制条件	158
5.7	膜生物反应器	153	5.7.5	膜生物反应器的应用	159
5.7.1	膜生物反应器的基本原理与特点	153	参考文献		159
5.7.2	膜生物反应器的形式	154			

第6章 有机废水的厌氧生物处理

6.1	有机废水厌氧生物处理的基本过程	160	6.3.2	厌氧生物膜法	174
6.1.1	厌氧生物处理的生物化学过程	160	6.3.3	两相厌氧消化工艺	175
6.1.2	厌氧生物处理过程中的主要微生物	163	6.4	厌氧生物处理技术的主要特征	176
6.1.3	厌氧细菌种群之间的关系及动态平衡	164	6.4.1	厌氧生物处理技术的优点	176
6.2	厌氧生物处理过程的影响因素	165	6.4.2	厌氧生物处理技术的缺点	177
6.2.1	工艺条件	165	6.5	厌氧生物处理过程的动力学	178
6.2.2	环境因素	170	6.5.1	稳态的完全混合反应器	178
6.3	厌氧生物处理工艺的发展	172	6.5.2	有回流的完全混合反应器	179
6.3.1	厌氧活性污泥法	172	6.5.3	厌氧生物膜反应器	181
			6.5.4	厌氧生物处理过程动力学参数的测定	182
			参考文献		183

第7章 厌氧活性污泥法处理工艺

7.1	厌氧水解酸化	184	7.4.6	升流式厌氧污泥床反应器的应用	209
7.1.1	水解酸化的过程控制	184	7.5	内循环厌氧生物反应器	210
7.1.2	水解酸化池的设计	185	7.5.1	内循环厌氧生物反应器的构造及工作原理	211
7.1.3	水解酸化池的应用	186	7.5.2	内循环厌氧生物反应器的特点	211
7.2	普通厌氧消化池	187	7.5.3	内循环厌氧生物反应器的过程控制	212
7.2.1	普通厌氧消化池的工作原理	187	7.5.4	内循环厌氧生物反应器的应用	213
7.2.2	普通厌氧消化池的构造	189	7.6	厌氧膨胀颗粒污泥床反应器	213
7.2.3	普通厌氧消化池的设计计算	190	7.6.1	厌氧膨胀颗粒污泥床反应器的结构与工作原理	214
7.2.4	普通厌氧消化池的应用	191	7.6.2	厌氧膨胀颗粒污泥床反应器的研究与应用	214
7.3	厌氧生物接触工艺	191	7.7	厌氧折流板反应器	215
7.3.1	厌氧生物接触工艺流程	191	7.7.1	厌氧折流板反应器的结构与工作原理	215
7.3.2	厌氧生物接触过程的控制	192	7.7.2	厌氧折流板反应器的主要性能	215
7.3.3	厌氧生物接触工艺的设计	194	7.7.3	厌氧折流板反应器的工艺设计	216
7.3.4	厌氧生物接触工艺的应用	195	7.7.4	复合型厌氧折流板反应器	217
7.4	升流式厌氧污泥床反应器	197	7.7.5	分阶段多相厌氧反应器	218
7.4.1	升流式厌氧污泥床反应器的构造	197	7.7.6	厌氧折流板反应器的研究现状和应用	219
7.4.2	升流式厌氧污泥床反应器的工作原理	199	参考文献		220
7.4.3	升流式厌氧污泥床反应器的工艺特征	201			
7.4.4	升流式厌氧污泥床反应器的过程控制	201			
7.4.5	升流式厌氧污泥床反应器的设计	204			

第8章 厌氧生物膜法处理工艺

8.1 厌氧生物滤池	221	8.2.6 厌氧附着膜膨胀床的研究与应用	231
8.1.1 厌氧生物滤池的构造	221	8.3 厌氧生物转盘	232
8.1.2 厌氧生物滤池的工作原理	222	8.3.1 厌氧生物转盘的构造及特征	232
8.1.3 厌氧生物滤池的污泥与微生物分布	223	8.3.2 厌氧生物转盘的设计计算	233
8.1.4 厌氧生物滤池的特点	224	8.4 两相厌氧处理系统	235
8.1.5 厌氧生物滤池的工艺设计	225	8.4.1 两相厌氧消化原理	235
8.1.6 厌氧生物滤池的应用	225	8.4.2 两相厌氧处理系统的相分离	236
8.2 厌氧附着膜膨胀床和厌氧附着膜流化床反应器	226	8.4.3 两相厌氧处理系统的特点	237
8.2.1 厌氧附着膜流化床的工作原理与特性	227	8.4.4 两相厌氧处理过程及反应器	237
8.2.2 厌氧附着膜流化床载体的特性和要求	228	8.4.5 两相厌氧处理工艺的应用范围	238
8.2.3 厌氧附着膜流化床反应器的设计	228	8.4.6 两相厌氧处理工艺的工程应用	239
8.2.4 厌氧附着膜流化床反应器的过程控制	229	8.5 厌氧复合床反应器	240
8.2.5 厌氧附着膜流化床的研究与应用	230	8.5.1 无三相分离器的升流式厌氧污泥床过滤器	241
		8.5.2 带三相分离器的升流式厌氧污泥床过滤器	241
		8.5.3 厌氧复合床反应器的研究与应用	242
		参考文献	244

第9章 厌氧生物处理系统的设计及其运行管理

9.1 厌氧产气量的计算	245	9.3.2 沼气的储存	252
9.1.1 理论产气量的计算	245	9.3.3 附属设施及仪表	253
9.1.2 实际产气率分析	246	9.3.4 沼气的利用系统	253
9.2 厌氧生物反应器的设计计算	247	9.4 厌氧设备的运行管理	257
9.2.1 工艺设备的选型	247	9.4.1 厌氧设备的启动	257
9.2.2 反应器容积的计算	248	9.4.2 日常管理	258
9.2.3 消化池的加热与保温	249	9.4.3 运行异常问题的分析与排除	259
9.2.4 消化池的运行管理	251	9.4.4 分析测量与记录	261
9.3 沼气的收集与储存	252	参考文献	262
9.3.1 沼气的收集	252		

第10章 有机废水生物脱氮除磷技术

10.1 营养元素的危害和氮磷的去除方法	263	10.3 生物脱氮工艺与技术	268
10.1.1 营养元素的危害	263	10.3.1 活性污泥脱氮传统工艺	268
10.1.2 脱氮除磷的物化法	264	10.3.2 缺氧-好氧活性污泥脱氮组合工艺	270
10.2 生物脱氮的原理	264	10.3.3 同步硝化与反硝化工艺	275
10.2.1 氮在废水中存在的形式与转化	264	10.3.4 Bardenpho 脱氮工艺	275
10.2.2 氨氧化	265	10.3.5 生物滤池硝化脱氮工艺	276
10.2.3 硝化	265	10.3.6 氧化沟硝化脱氮工艺	276
10.2.4 反硝化	266	10.3.7 生物转盘硝化脱氮工艺	276

10.3.8 改进的 A-B 工艺	277	10.6.1 巴顿甫脱氮除磷工艺	284
10.3.9 废水生物脱氮工艺的运行控制	277	10.6.2 Phoredox 同步脱氮除磷工艺	285
10.4 生物除磷的原理及影响因素	278	10.6.3 An/A/O 同步生物脱氮除磷工艺	286
10.4.1 生物除磷的原理	278	10.6.4 UCT 同步脱氮除磷工艺	289
10.4.2 生物除磷的影响因素	279	10.6.5 VIP 组合工艺	290
10.5 生物除磷工艺	280	10.6.6 氧化沟脱氮除磷工艺	290
10.5.1 弗斯特利普除磷工艺	280	10.6.7 SBR 脱氮除磷工艺	290
10.5.2 厌氧-好氧活性污泥除磷工艺	281	10.6.8 废水生物脱氮除磷工艺选择	291
10.6 同步脱氮除磷工艺	284	参考文献	292

第 11 章 废水的自然生物处理系统

11.1 稳定塘处理系统	293	系统	305
11.1.1 生物稳定塘的特点	293	11.2.2 高级组合塘系统	306
11.1.2 稳定塘系统的运行原理	294	11.3 废水土地处理	309
11.1.3 稳定塘的种类及工艺流程	295	11.3.1 废水土地处理系统的组成	309
11.1.4 厌氧塘	296	11.3.2 废水土地处理的工艺	309
11.1.5 兼性塘	298	11.3.3 土地处理法的运行管理	311
11.1.6 好氧塘	299	11.4 人工湿地污水处理技术	313
11.1.7 曝气塘	300	11.4.1 人工湿地的类型	313
11.1.8 深度处理塘	302	11.4.2 人工湿地的净化原理	314
11.1.9 稳定塘的塘体设计	303	11.4.3 人工湿地的工艺流程	317
11.2 高效新型塘	305	11.4.4 人工湿地系统的工艺设计	318
11.2.1 两级曝气功率的多级串联曝气塘		参考文献	322



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° ，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 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 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	3.9
		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	3.4
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、黄河、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。

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。

(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75610km²，占全国总面积的0.8%左右；全国湖泊的储水量约为7510×10⁸m³，其中淡水的储量为2150×10⁸m³，仅占湖泊储水量的28.7%。

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38150km²，储水量为5230×10⁸m³，其中淡水的储量为390×10⁸m³；外流湖泊的面积为37460km²，储水量为2270×10⁸m³，其中淡水的储量为1760×10⁸m³。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	湖水面面积/km ²	占全国湖泊总面积的比例/%	储水量/10 ⁸ m ³	其中淡水储量/10 ⁸ m 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°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56500km²，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33600km²，约占全国冰川面积的60%；分布于外流河区域的冰川面积为22855km²，约占全国冰川面积的40%。全国冰川的总储水量约为50000×10⁸m³。

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”，呈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。

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、徒骇河、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射、冷却、地球重力作用等。水的自然循环如图 1-1 所示。

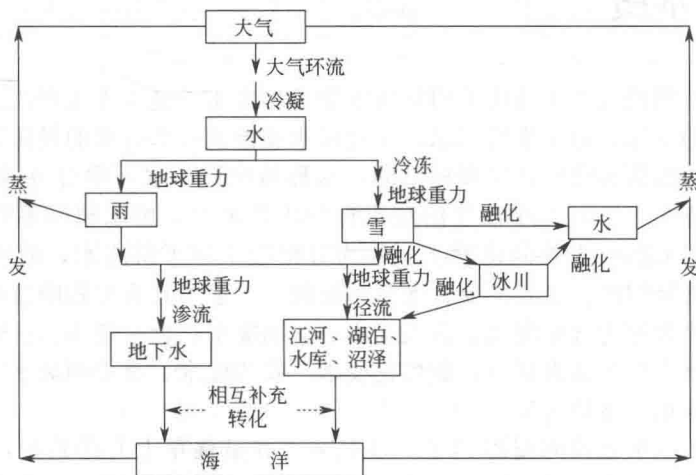


图 1-1 水的自然循环

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。

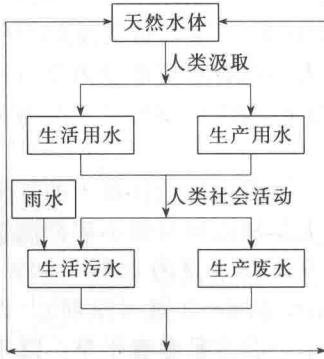


图 1-2 水的社会循环

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。如不妥善处理污(废)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。其他各地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—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 $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 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,造成沿流域城市停课数天;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,环境保护工作任务任重道远。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 40 吨,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造成了严重影响,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及计算

(1) 生活污水和城市污水的水质

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,工业废水所占的比例会有所不同,对于一般性质的城市,其工业废水在城市污水中的比例大约为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 $BOD_5=100\sim 300\text{mg/L}$, $COD=250\sim 600\text{mg/L}$;常见浓度 $BOD_5=180\sim 250\text{mg/L}$, $COD=300\sim 500\text{mg/L}$ 。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			

(2) 城市污水水质计算

在水处理设计计算中,城市污水的设计水质可以参照相似城市的水质情况,也可以根据规划人口、人均污染物负荷和工业废水的排放负荷进行计算。

生活污水总量可按综合生活污水定额乘以人口计算:

$$Q_d = \frac{q_w P}{1000} \quad (1-1)$$

式中 Q_d ——生活污水总量, m^3/d ;

q_w ——综合生活污水定额, $L/(人 \cdot d)$,可按当地生活用水定额的 80%~90%采用;

P ——人口,人。

生活污水的污染可以通过人口当量计算。《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)给出的生活污水的人口排放当量数据为: BOD_5 人口排放当量为 20~50g/(人·d), $SS=40\sim65g/(人 \cdot d)$,总氮人口排放当量为 5~11g/(人·d),总磷人口排放当量为 0.7~1.4g/(人·d)。

排入城市污水的工业废水的污染负荷或水质、水量可参照已有同类型工业的相关数据。

城市污水中污染物的浓度可按下式计算:

$$C = \frac{\alpha P + 1000F}{Q_d + Q_i} \quad (1-2)$$

式中 C ——污染物浓度, mg/L ;

α ——污染物人口排放当量, $g/(人 \cdot d)$;

F ——工业废水的污染物排放负荷, kg/d ;

Q_i ——工业废水水量, m^3/d 。

1.3.2 工业废水的水质

工业废水是工厂厂区生产活动中的废弃水的总称,包括生产污水、厂区生活污水、厂区初期雨水和洁净废水等。设有露天设备的厂区初期雨水中往往含有较多的工业污染物,应纳入污水处理系统接受处理。工厂的洁净废水(也称生产净废水)主要来源于间接冷却水的排放,所含污染物较少,一般可以直接排放。上述工业废水中的前三项(生产污水、厂区生活污水和厂区初期雨水)统称为工业污水。在一般情况下,“工业废水”和“工业污水”这两个术语经常混合用,本书主要采用“工业废水”这一术语。

工业废水的性质差异很大,不同行业产生的废水的性质不同,即使对于生产相同产品的同类工厂,由于所用原料、生产工艺、设备条件、管理水平等的差别,废水的性质也可能有所差异。几种主要工业行业废水的污染物和水质特点如表 1-7 所列。

表 1-7 几种主要工业行业废水的污染物和水质特点

行业	工厂性质	主要污染物	水质特点
冶金	选矿、采矿、烧结、炼焦、金属冶炼、电解、精炼	酚、氰、硫化物、氟化物、多环芳烃、吡啶、焦油、煤粉、As、Pb、Cd、Mn、Cu、Zn、Cr、酸性洗涤水	COD 较高,含重金属,毒性大
化工	化肥、纤维、橡胶、染料、塑料、农药、涂料、洗涤剂、树脂	酸、碱、盐类、氰化物、酚、苯、醇、醛、酮、氯仿、农药、洗涤剂、多氯联苯、硝基化合物、胺类化合物、Hg、Cd、Cr、As、Pb	BOD 高,COD 高,pH 变化大,含盐高,毒性强,成分复杂,难降解