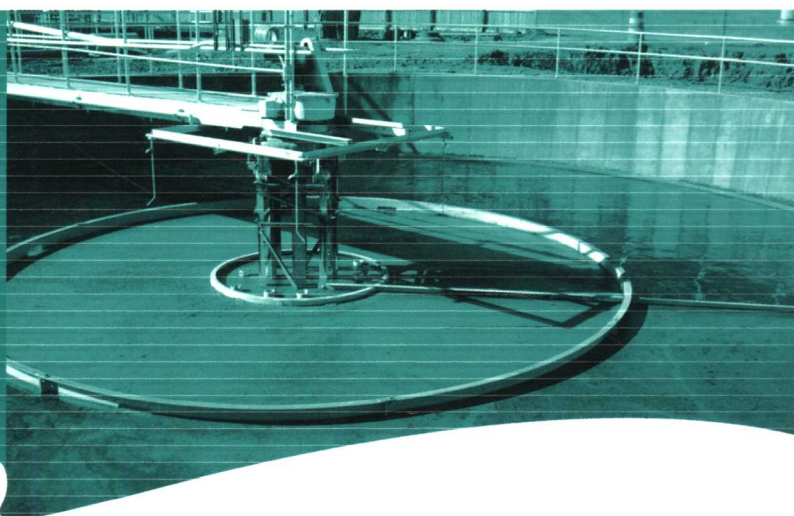


水污染 控制工程学

郭茂新 主编

郭茂新
孙培德 编
楼菊青



**WASTEWATER
TREATMENT ENGINEERING**

中国环境科学出版社

高等院校环境类系列教材

本书得到浙江省科技攻关重大项目[2004C13003]的资助

水污染控制工程学

郭茂新 主编

郭茂新 孙培德 楼菊青 编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

水污染控制工程学 / 郭茂新主编; 郭茂新, 孙培德,
楼菊青编. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.12

ISBN 7-80209-251-5

I. 水… II. ①郭… ②郭… ③孙… ④楼…
III. 水污染—污染控制 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 160458 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-6711 2735

网 址: www.cesp.cn

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

本中心立足于出版环境科学与工程类专业图书。以服务为
宗旨, 以市场为导向。做绿色文明的倡导者, 充当环境文化的传
播者。

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2005 年 12 月第一版

印 次 2005 年 12 月第一次印刷

印 数 1—5 000

开 本 787×1092 1/16

印 张 38

字 数 1 000 千字

定 价 49.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

当今世界,水资源的日趋短缺和水环境的污染已成为制约人类社会和经济可持续发展的关键因素之一。水污染不仅破坏了生态,加剧了水资源短缺,还严重地威胁着工农业生产和人类的健康。为保护生态环境,防止人类生存空间的不断恶化,减轻、消除水污染所造成的不良影响,近几十年来,人们在水污染控制,尤其是废水处理工艺和技术方面,做了大量的研究、开发和工程实践。特别是近十多年来,出现了比过去通用的传统处理技术和工艺更加有效的新技术和新工艺。可以说,废水处理理论和技术已经发展到了一个新阶段。同时,在水污染控制的思路和观念上也有了“革命性”的转变。

我国正处于经济高速发展期,在诸多的环境问题中,水污染显得尤为突出。江河、湖泊和近海岸海域大都受到不同程度的污染,严重制约了经济和社会的发展,在水污染控制方面面临巨大的挑战。思想观念、资金投入和技术支撑是做好水污染控制的三大要素。实践证明,关键是否拥有行之有效的治理技术。在实际工作中,因找不到经济合理的废水处理技术,使治理设施迟迟不能上马;有的处理设施,因技术不过关、工艺设计不合理或运行控制不规范,不能做到正常运转和达标排放。鉴于此,我们更迫切需要造就一大批从事废水处理工程的高级专业技术人员,学习研究、推广应用高效、节能、低耗的废水处理新工艺、新技术,推动环境保护事业的不断发展。

本书在提炼以往教材内容的基础上,纳入了目前国内外研究开发和应用较广的各项废水处理技术,侧重介绍了各项技术的基本原理、基础理论、工艺流程、工艺参数、工程设计基础和运行控制等内容,同时,介绍了废水处理方面的理论研究和技术开发的新进展,力求全面系统,强调理论联系实际。为帮助读者领会和掌握基本内容,书中介绍了一些设计计算实例,并编有习题和思考题。

本书是高等院校环境工程专业的教学用书,以本科教学为基本内容,同时作为一种尝试,部分内容兼顾了研究生教学和大专教学的需要。不同层次的学科,在教学组织上应根据各自的教学大纲要求,对本教材的内容进行合理的删节。本书也可从事废水处理工程设计、研究、管理和运行控制等技术人员参考。

本书由浙江工商大学郭茂新、孙培德、楼菊青三人执笔,郭茂新主编。本书编写过程中,编写人之间保持着密切的联系,多次集体磋商、讨论本书的体系、内容,力求本书在内容和体系上能够适应当前和今后一段时间水污染控制形势发展的需要。各篇、章编写的具体分工是:郭茂新编写第一篇第一章、第二章;第二篇第十四章、十五章;第三篇第十六章、十七章、十八章、十九章。孙培德编写第二篇第六章、十章、十一章、十二章、十三章。楼菊青编写第二篇第三章、四章、五章、七章、八章、九章。

本书编写过程中得到清华大学张晓健教授、浙江大学郑平教授、浙江水美环保工程有限公司余淦申教授级高级工程师的大力支持,浙江工商大学的部分学生参加了大量的文字录入工作,在此一并表示感谢。

限于学术水平,本书的编写定有诸多不足和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第一篇 总 论

第一章 水循环和水环境污染	2
第一节 水循环与水体自净	2
一、水的自然循环	2
二、水的社会循环	2
三、水体自净作用	3
第二节 水环境污染	4
一、水环境污染基本概念	4
二、水环境污染的危害	4
三、废水的分类与特征	5
四、废水中的污染物种类	7
第三节 废水的水质指标	11
一、废水的水质指标	11
二、水质标准	14
第二章 水污染控制工程技术进展	16
第一节 我国的水环境污染现状	16
第二节 水污染控制的基本途径和方法	17
一、水污染控制的基本途径与方法	17
二、废水处理的基本方法	19
三、废水处理系统	20
第三节 水污染控制工程技术进展	22
一、水污染控制工程技术的历史回顾	22
二、水污染控制工程技术的发展趋势	23

第二篇 废水的单元处理技术

第三章 废水的物理处理	26
第一节 废水的预处理	26
一、格栅与筛网	26
二、集水与提升	31
三、水量与水质的调节	33
第二节 废水的沉淀处理	34
一、概述	34
二、沉淀理论	36
三、沉砂池	39
四、沉淀池类型与特点	42
五、沉淀池工艺设计	44
第三节 废水的隔油处理	54
一、含油废水	54
二、隔油池	55
三、乳化油及破乳方法	56
第四节 废水的离心处理	57

一、离心分离原理	57
二、离心分离设备	58
第五节 废水的过滤处理	61
一、过滤理论	61
二、过滤池工艺设计	61
第四章 废水的化学处理	70
第一节 废水的中和处理	70
一、概述	70
二、中和处理方法与装置	70
第二节 废水的化学沉淀处理	76
一、概述	76
二、氢氧化物沉淀法	77
三、硫化物沉淀法	78
四、钡盐沉淀法	79
第三节 药剂氧化与还原处理	79
一、药剂氧化法	80
二、药剂还原法	82
三、臭氧氧化法	84
四、消毒	85
第四节 废水的电解处理	87
一、废水电解处理功能	87
二、电解原理	88
三、电解槽的结构形式和极板电路	89
四、电解在废水处理中的应用举例	91
第五章 废水的物理化学处理	94
第一节 混凝处理	94
一、概述	94
二、混凝动力学	94
三、混凝剂和助凝剂	97
四、混凝反应池	98
五、影响混凝效果的主要因素	101
第二节 气浮处理	102
一、概述	102
二、溶气气浮法	102
第三节 吸附处理	108
一、概述	108
二、吸附原理	108
三、影响吸附的因素	109
四、吸附剂	109
五、吸附工艺设计	110
第四节 离子交换	113
一、概述	113
二、离子交换系统与设备	115
三、离子交换法在废水处理中的应用	117
第五节 萃取	117
一、概述	117

二、萃取剂	118
三、萃取过程	118
四、萃取设备	119
第六节 膜分离技术	119
一、概述	119
二、膜技术的基本原理	120
三、渗析法	124
四、电渗析法	124
五、反渗透法	126
六、超滤法	127
第六章 废水生物处理基本过程及动力学模型	129
第一节 生物处理系统的生物学	129
一、生物种群	129
二、选择作用	131
第二节 生物处理系统中的转化过程	133
一、生物增长	133
二、水解过程	134
三、衰减过程	134
第三节 有机物的好氧异养转化	135
一、好氧异养转化的反应过程	135
二、好氧异养转化的产率系数	136
三、好氧异养转化中的营养物	137
四、好氧异养转化的动力学	138
五、异养微生物的好氧转化	139
六、环境因素对好氧异养转化的影响	139
第四节 硝化过程	142
一、硝化反应	142
二、碱度	144
三、硝化动力学	144
四、环境因素对硝化的影响	144
第五节 反硝化过程	148
一、反硝化反应	149
二、反硝化的产率系数	150
三、营养物	150
四、碱度	150
五、反硝化动力学	151
六、环境因素对反硝化的影响	152
第六节 生物除磷过程	154
一、生物除磷反应	154
二、生物除磷的产率系数	155
三、碱度	156
四、生物除磷动力学	156
五、生物除磷的环境因素	156
第七节 厌氧过程	157
一、厌氧反应	158
二、厌氧过程的产率系数	159

三、厌氧过程中的有机物	159
四、厌氧过程中的碱度	160
五、厌氧过程的动力学	160
六、产气过程	161
七、厌氧过程的环境影响因素	162
第八节 活性污泥微生物模型	163
一、活性污泥模型概述	163
二、ASM1	164
三、ASM2	168
四、ASM3	171
第七章 废水的活性污泥法处理	176
第一节 概述	176
一、活性污泥	176
二、活性污泥法的基本流程	176
三、活性污泥降解污水中有机物的过程	177
第二节 活性污泥处理系统的控制指标	178
一、活性污泥法主要设计与运行参数	178
二、曝气原理与曝气设备	186
三、活性污泥处理的影响因素	196
第三节 活性污泥法的设计计算	196
一、概述	196
二、构筑物与设备	197
三、工艺设计	201
第四节 普通活性污泥法及演变	211
一、普通活性污泥法	211
二、阶段曝气活性污泥法	212
三、吸附—再生活性污泥法	212
四、高负荷活性污泥法	213
五、延时曝气活性污泥法	213
六、深井曝气活性污泥法	213
七、纯氧曝气活性污泥法	214
第五节 氧化沟法	215
一、概述	215
二、普通型氧化沟	215
三、奥贝尔型氧化沟	215
四、卡鲁塞尔式氧化沟	216
五、交替工作型氧化沟	216
六、双沟 DE 型氧化沟	217
七、鼓风曝气型氧化沟	217
第六节 两段式活性污泥法	218
一、工艺流程	218
二、其他两段活性污泥法	218
第七节 序批式活性污泥法	219
一、概述	219
二、普通序批式活性污泥法 (SBR)	221
三、间歇式循环延时曝气活性污泥法 (ICEAS)	227

四、循环式活性污泥法 (CAST)	227
五、周期循环活性污泥法 (CASS)	228
六、DAT-IAT 法	229
七、MSBR 法	229
八、UNITANK 系统	230
第八节 活性污泥法处理展望	231
一、活性污泥法在现阶段工业废水处理中的应用	231
二、废水处理过程中活性污泥法存在的不足和改善	231
第八章 废水的生物膜法处理	233
第一节 概述	233
一、生物膜微生物学	233
二、生物膜法废水处理的主要特征	235
第二节 生物滤池	236
一、概述	236
二、生物滤池的构造与流程	237
三、影响生物滤池性能的主要因素	241
四、生物滤池的设计计算	243
五、曝气生物滤池处理系统	250
第三节 生物转盘	251
一、概述	251
二、生物转盘的构造与系统	251
第四节 生物接触氧化法	252
一、概述	252
二、生物接触氧化池的构造	253
三、生物接触氧化池的设计计算	254
第五节 生物流化床	255
一、概述	255
二、生物流化床的工艺类型及特点	257
三、生物流化床中的载体	259
第六节 移动床生物膜反应器	259
第七节 生物膜处理技术进展	260
一、生物膜法在废水处理中的应用	261
二、生物膜法在废水处理中的不足和改善	261
第九章 废水的厌氧生物处理	263
第一节 概述	263
一、厌氧生物处理的发展过程	263
二、厌氧生物处理工艺特点	264
第二节 厌氧生物处理机理	265
一、厌氧消化阶段的划分	265
二、主要控制条件	266
第三节 厌氧接触法与厌氧生物滤池 (UAF)	266
一、厌氧接触法	266
二、厌氧生物滤池	267
第四节 上流式厌氧污泥床反应器 (UASB)	268
一、概述	268

二、UASB 的功能分区	268
三、UASB 工艺设计	269
第五节 厌氧膨胀床及流化床	272
第六节 折流式厌氧反应器 (ABR)	272
第七节 膨胀颗粒污泥床反应器 (EGSB)	273
一、EGSB 反应器的构造特点	274
二、EGSB 反应器的运行性能	274
第八节 内循环膨胀污泥床反应器 (IC)	274
第九节 厌氧生物处理技术进展	275
一、厌氧生物处理技术未来发展领域	275
二、高效厌氧生物反应器研究趋势	276
第十章 废水的膜生物反应器处理	277
第一节 膜生物反应器	277
一、影响膜通透量的主要因素	277
二、膜生物反应器的分类	279
三、膜生物反应器的材料和构型	286
第二节 商业化膜生物反应器	287
一、Kubota 公司	287
二、Zenon 公司	288
三、Orelis 和 Mitsui Chemicals 公司	290
四、Membratek, Weir Envig, Aquatech 和 Bioscan A/S 公司	291
五、WehrleWerk AG 公司	291
六、US Filter 公司	293
七、Degremont 公司	294
第三节 膜生物反应器的应用	294
一、Kubota MBR 技术	294
二、ZenonGem MBR 工艺	295
三、Orelis MBR 工艺	297
四、Weir Envig, AquaTech 和 Bioscan A/S 公司的 MBR 工艺	298
五、Wehrle Werk AG Biomembrat 工艺	300
六、Degremont MBR 工艺	300
第十一章 废水的生物脱氮除磷处理	302
第一节 硝化处理系统	302
一、硝化处理系统的物料平衡	302
二、硝化处理系统的类型	309
三、硝化处理系统的设计	314
第二节 反硝化处理系统	318
一、反硝化处理的物料平衡	319
二、反硝化除磷工艺的种类	326
三、反硝化处理系统的设计	330
第三节 污水生物除磷处理系统	340
一、生物除磷系统的物料平衡	340
二、生物除磷处理系统的类型	342
三、生物除磷系统的设计	344

第十二章 废水的天然净化处理	348
第一节 塘处理系统	348
一、国内外塘处理系统的发展	348
二、生态塘系统在国内的应用实例	354
三、污水生态处理技术在国外的应用	358
四、高效新型塘	359
第二节 土地处理系统	365
一、处理流程	365
二、监测及运行效果	366
第三节 人工湿地处理	366
一、概述	366
二、人工湿地的类型	369
三、人工湿地去除污染物的机理	373
四、人工湿地的设计与计算	376
五、人工湿地的应用实例	391
第十三章 废水的高级氧化处理	394
第一节 废水处理高级氧化技术的进展	394
一、自由基($\cdot\text{OH}$)	394
二、高级氧化工艺的特点	394
第二节 湿式空气氧化处理	396
一、概述	396
二、湿式空气氧化的原理	397
三、湿式空气氧化反应动力学	399
四、湿式氧化的主要影响因素	402
五、湿式氧化系统及应用	403
第三节 催化湿式氧化处理技术	404
一、概述	404
二、均相催化湿式氧化法	404
三、非均相催化湿式氧化法	407
第四节 超临界水氧化处理技术	410
一、概述	410
二、基本原理	411
三、超临界水氧化反应动力学	414
四、超临界水氧化技术的工艺及装置	416
五、超临界水氧化处理技术的应用及评价	418
第五节 催化超临界水氧化处理技术	421
一、影响催化效果的因素	421
二、技术应用	422
第六节 光化学氧化处理技术	423
一、光化学氧化原理	424
二、羟基自由基的性质	424
三、光化学氧化系统	425
第七节 光化学催化氧化处理技术	432
一、均相光化学催化氧化	432
二、非均相光化学催化氧化	435
三、光化学和光催化的比较	437

四、光催化氧化的应用和展望	439
第十四章 废水的资源化与回用	440
第一节 概述	440
一、废水回用的必要性和发展概况	440
二、废水净化回用对象	441
三、回用水水质标准	442
第二节 废水回用处理技术与工艺选择	446
一、废水回用处理单元技术	446
二、废水回用处理工艺选择	447
三、废水回用过程中可能出现的潜在问题	449
第三节 污水处理厂中水回用工程实例	450
一、工程概况	450
二、处理工艺流程	450
三、处理构筑物及设备设计	450
四、处理效果	451
五、技术经济指标	451
六、运行管理要点	451
七、工程评价	452
第十五章 污泥的处理与处置	453
第一节 污泥处理与处置概论	453
一、概述	453
二、污泥分类与污泥量	454
三、污泥的性质指标	456
四、污泥输送管的水力计算	459
第二节 污泥浓缩	460
一、污泥的沉降浓缩	461
二、污泥的气浮浓缩	463
三、离心浓缩法	464
第三节 污泥的厌氧消化	464
一、污泥厌氧消化法的发展和分类	464
二、污泥厌氧消化池的构造	466
三、消化池的设计计算	467
第四节 污泥的好氧消化	468
一、污泥好氧消化机理	468
二、好氧消化的设计	471
第五节 污泥消毒	472
第六节 污泥的机械脱水	474
一、污泥的调理	474
二、机械脱水的基本原理	475
三、真空过滤脱水	479
四、离心脱水	482
五、厢式压滤机脱水	484
六、滚压带式脱水机	485
第七节 污泥的最终处置与利用	488
一、农业利用与土地处理	488

二、建材利用	491
三、填海造地	492

第三篇 废水处理工程设计与运行控制

第十六章 废水处理工程设计概论	495
第一节 废水处理工程设计程序	495
一、工程建设项目管理程序	495
二、废水处理工程设计程序	495
第二节 废水处理工程设计的范围和内容	496
一、设计范围	496
二、废水处理工程设计内容	496
第三节 废水处理工程设计依据和原则	499
一、设计依据	499
二、设计原则与要求	500
三、设计基础资料	501
第十七章 废水处理厂工程设计	503
第一节 设计水量与水质	503
一、设计水量	503
二、废水处理厂的设计水质	505
三、废水水质水量调查方法	506
第二节 厂址选择	507
一、厂址选择主要内容	507
二、厂址选择的基本原则	508
第三节 废水处理工艺流程设计	508
一、确定废水处理工艺流程应考虑的主要因素	509
二、处理工艺设计的原则	510
三、处理工艺流程设计举例	511
四、处理工艺流程图的绘制	512
第四节 处理构筑物工艺设计	513
一、设计内容	513
二、设计举例	514
第五节 总图设计	518
一、平面布置	518
二、高程布置	520
第十八章 废水处理厂的技术经济分析	523
第一节 废水处理厂工程投资估算	523
一、基本建设投资	523
二、基本建设投资的估算方法	523
第二节 废水处理厂处理成本计算	525
第三节 废水处理厂技术经济评价	526
一、财务评价	526
二、国民经济评价	527
第十九章 废水处理厂运行控制	528
第一节 废水处理厂的运行调试	528

一、调试准备	528
二、活性污泥的培养	529
三、活性污泥的驯化	531
四、废水处理系统试运行	532
第二节 预处理单元的运行控制	533
一、格栅的运行控制	533
二、沉砂池的运行控制	534
三、集水池与泵组的运行控制	536
四、初沉池的运行控制	536
第三节 物化处理单元的运行控制	541
一、混凝沉淀处理的运行控制	541
二、滤池的工艺控制	547
第四节 活性污泥系统的工艺控制	550
一、活性污泥系统的工艺控制环节	551
二、活性污泥系统的工艺控制方法	559
三、活性污泥的质量控制	560
四、活性污泥异常问题及其对策	563
第五节 生物脱氮除磷系统的运行控制	572
一、生物脱氮系统的运行控制	572
二、生物除磷系统的运行控制	575
第六节 生物膜法系统的运行控制	577
一、生物膜法系统的运行特点	577
二、生物膜法的运行控制	578
三、生物滤池的运行控制	580
第七节 UASB 反应器的运行控制	582
一、颗粒污泥的培养	582
二、运行时应考虑的主要因素	583
附录	586
参考文献	589
教学建议	593

第一篇

总 论

第一章

水循环和水环境污染

水是地球上最宝贵的一种自然资源，维系人类的生命活动和一切社会活动，是人类社会前进和发展的不可缺少的因素。近年来，由于世界人口增长和社会经济的发展，人类的用水量急剧增加，原有的清洁水资源受到人类活动的污染，使地球上的水资源日益紧张，水污染和水资源短缺已成为当今人类面临的最严峻的挑战之一。因此，保护环境、控制水污染已成为全世界关注的热点。

第一节 水循环与水体自净

地球上的水处于川流不息的循环运动之中，它有两种基本循环类型：自然循环和社会循环。

一、水的自然循环

地球表面的水在太阳照射下，不断地被蒸发、汽化为水蒸气，水蒸气上升到空中形成云，又在大气环流的作用下移动到各处，遇适当的条件时即成为雨或雪等而降落到海洋和陆地。这些降水一部分渗入地下成为土壤水或地下水；另一部分可顺着地表径流汇入江河、湖泊，并最终汇入海洋。因此在陆地表面存在着水向海洋的流动，在大气高空水蒸气从海洋上空向陆地运动。地表水经植物吸收后再经枝叶蒸腾进入大气层，地面涵养水又可经蒸发进入大气层。即自然界的水在太阳能照射和地心引力等自然力的影响下，通过降水、径流、渗透和蒸发等形式，不停地流动和转化，从海洋到天空到内陆，最后又回到海洋，这种过程循环往复、永无止境，构成自然界中的水循环，见图 1-1。

水在自然循环中，对调节地球上空气温，避免温度的剧变，起着巨大的作用。

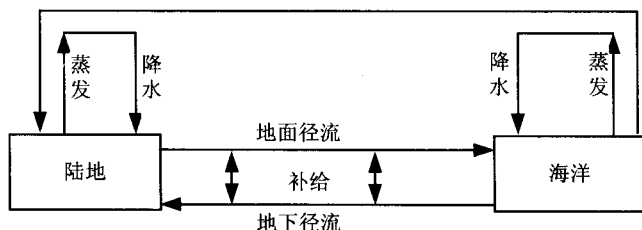


图 1-1 水的自然循环

二、水的社会循环

人类社会为了满足生活和生产的需要，以各种天然水体作水源汲取生活用水和生产用水。水受到人类活动的影响，其物理性质和化学性质发生了变化，就变成了污染过的水，简

称为废水（或污水）。而使用后被排出的废水最终又流入天然水体。这样，水在人类社会中，构成的一个个局部循环体系，称为水的社会循环，见图 1-2。

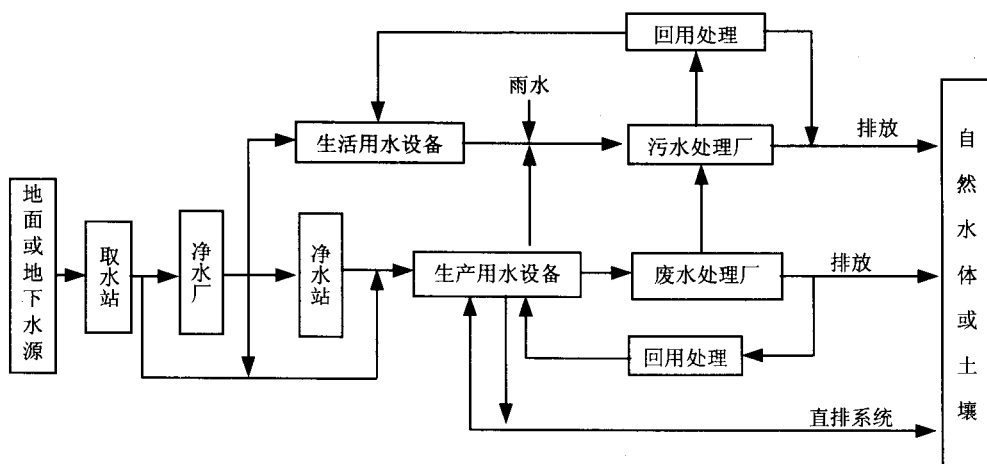


图 1-2 水的社会循环

为保证用水能满足使用要求（水量、水质和水压）的工程设施，称为给水工程。为保证废水能安全可靠排放的工程设施，称为排水工程。将废水经各种技术手段进行处理，使其满足不同环境标准后再排放的工程设施，称为废水处理工程。将废水或达标处理后的排放水进行再处理，使其满足不同的使用标准后再回用的工程设施，称为回用水（中水）处理工程。

社会循环中的用水量不过是径流和渗流的 2%~3%，即地球总水量的数百万分之一，但是在社会循环中，却表现出人与自然在水量和水质方面存在着巨大的矛盾，集中表现在废水的排放对水体、大气、土壤、生物污染，叫做废水污染。水污染控制工程就是调查、研究和控制、解决这些矛盾，保证用水和废水的社会循环顺利进行，以维持人与自然的和谐相处。

三、水体自净作用

水体自净作用是指水体能在其环境容量范围内，经过水体的物理、化学、地质、生物的作用，使外来的污染物浓度和毒性自然降低乃至消失的作用，表现出一定条件下水体有自动调节的功能。水环境容量是指在充分利用水环境的自净能力和不造成污染损害的前提下，某一特定环境区域能容纳的污染物质的最大负荷量。水环境容量的大小，即为特定环境区域水体自净能力强弱的指标。

废水进入天然水体，通过物理的、化学的、生物的作用逐渐得到净化。在净化初期，由于生物在氧化分解有机物时的耗氧作用，水体中溶氧水平不断下降，但水中的藻类可利用有机物分解后生成的 N、P 等无机盐进行光合作用，放出氧气；加上水面的复氧作用，使水体溶氧水平逐渐恢复。若有机物污染负荷高、数量多，微生物分解有机物的耗氧作用会使水体溶氧降至零，这时自净作用即中断，水中的有机污染物在厌氧条件下只能被厌氧细菌发酵，消化成低分子的有机物及 CO_2 、 NH_3 、 H_2S 等，使水体发黑发臭，因此水体的自净作用是受水体溶氧水平制约的。

水体自净过程有物理过程、化学过程、物理化学过程和生化过程。