

废水再生与回用

应用技术

刘雄科 袁园 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

废水再生与回用

应用技术

刘雄科 袁园 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以北石桥中水有限责任公司的生产运行管理为核心,以实际的工艺运行、生产操作为脉络,以点及面、分两篇展开。第1篇工艺篇介绍废水的再生与回用技术,第2篇操作篇介绍北石桥中水有限责任公司的实际生产运行管理情况,力求在介绍的过程中,总结经验、分析不足、探讨废水再生与回用的新方向与新思路。

第1篇工艺篇:第1章总论,第2章城市废水的性质与污染指标,第3章废水的处理,第4章废水的再生,第5章废水的回用。

第2篇操作篇:第6章泵与泵站,第7章加氯间操作系统,第8章加药间操作系统,第9章滤池的控制与运行,第10章自动化控制,第11章中水公司计算机监控系统,第12章供配电系统。

本书可作为从事中水处理的相关工程技术人员的学习资料,同时也希望它可以为更多的同行利用,展示问题,交流经验,完善自我。另外,作为目前西安市唯一一家污水再生利用工程示范单位,本教程也可以作为各大、中专院校相关专业学生的参观实习指导教材,以资参考。

图书在版编目(CIP)数据

废水再生与回用应用技术/刘雄科,袁园主编. —北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-7809-1

I. 废… II. ①刘…②袁… III. 废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 135013 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年3月第一版 2009年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10印张 238千字

印数 0001—3000册 定价 19.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

水资源是十分重要又很特殊的自然资源,是人类赖以生存的基本物质和人类社会可持续发展的限制因素。中国属于水资源贫乏的发展中国家,人均占有水量仅 $2400\sim 2500\text{m}^3/\text{年}$,为世界人均占有水量的四分之一,已被联合国列为 13 个水资源贫乏国家之一。目前我国约有 60% 的城市供水不足,北方地区尤为严重,以陕西省为例,人均占有水量仅为 $1300\text{m}^3/\text{年}$,低于全国人均占有水量的下限。随着国民经济的发展及西部大开发的进展,水资源供需矛盾日益明显,优化水资源配置、防治水污染和推进污水资源化事业已成为我们今后长期的工作任务。

西安市是陕西省的政治、经济、文化中心,目前城市供水能力为 $110\text{万 m}^3/\text{d}$ 。统计资料表明,西安市的需水量年增长速度为 5.1%,而供水能力的增长速度仅为 2.4%。一方面西安市供水缺口很大,严重影响工业生产和人民生活水平的提高,另一方面,约占城市供水量 80% 的城市污水却没有合理利用。事实上,经过不断的实验和实践探索,我们发现城市污水是水量稳定、供给可靠的城市第二水源,合理的开发和利用城市污水,是实现水资源科学管理和“优质优用,低质低用”的综合利用效益的有效途径。

随着我国城市污水资源化事业的合理规划与发展,我国污水再生利用步入了从试点运行到逐渐推广普及的阶段。在这个过程中,西安市北石桥中水有限责任公司有幸能够成为行业的实践者之一,经历了生产工艺从试运行到运行、正式供水,设备由新到旧、到部分更新,包括进水水质的波动、用户用途的扩展和要求的更新等过程。通过在三年多的实际运行中不断摸索和积累经验,逐渐确立了一套以城市污水处理厂二级生物处理出水为水源的生产运行管理体系。本书正是对这套体系的介绍与分析。

希望本书能够达到培养掌握中水处理工艺技术和相关知识的工程技术人员和操作工的目的,同时也希望它可以为更多的同行利用,展示问题,交流经验,完善自我。另外,作为目前西安市唯一一家污水再生利用工程示范单位,本教程也可以作为各大、中专院校相关专业学生的参观实习指导教材,以资参考。

本书以北石桥中水有限责任公司的生产运行管理为核心,以实际的工艺运行、生产操作为脉络,以点及面、分两篇展开。第 1 篇工艺篇介绍废水的再生与回用技术,第 2 篇操作篇介绍北石桥中水有限责任公司的实际生产运行管理情况,力求在介绍的过程中,总结经验、分析不足、探讨废水再生与回用的新方向与新思路。

本书由袁园(第 1、2、3、4、5 章),刘春阳(第 6、12 章),强涛、白萍(第 9、10、11 章),井小平(第 7 章),孙红霞、段姗姗(第 8 章)编写,由刘雄科、袁园统稿。在本书的编写过程中,北石桥中水有限责任公司赵超、焦锋参与了部分技术资料的收集工作,金迪生物科技集团咸阳百晟水净化有限公司经理王建军、德国 FESTO(费斯托)西安分公司

经理崔晓、德国 EBRO（依博罗）西安分公司工程师龙燕对于本书的编写给予了宝贵的意见和建议，在此表示感谢。同时，丹麦克鲁格公司、西安市市政设计研究院、中国市政工程西北设计研究院、ABB（中国）有限责任公司、ITT 飞力设备有限公司、格兰富 Oy 环保芬兰有限公司、汉胜工业设备（上海）有限公司、北京首都控制公司、山东章晃机械工业有限公司、无锡阿特拉斯·科普柯压缩机有限公司、德国盖米阀门（上海）有限公司、许继变压器有限公司、北京市双环建筑水处理技术开发公司、珠海市碧泉水业科技有限责任公司、深圳市清泉水系统工程设备有限公司、北京东方华康自动化设备有限公司以及国家科技图书文献中心·自动化网、中国泵阀资讯网、中国泵阀联盟网对于本书的编写给予了重要的技术资料支持，在此深表谢意。

本书立足于西安市北石桥中水有限责任公司的实际情况，遵循实用性与针对性的原则，力求层次分明、概念清晰、逻辑合理。因编写人员学术水平和经验有限，加之时间仓促，书中不妥之处敬请读者、同行批评指正。

编 者

2007 年 5 月 21 日

目 录

前言

第 1 篇 工艺篇

第 1 章 总论	1
1.1 水资源概述	1
1.1.1 世界与我国水资源现状	1
1.1.2 污水资源化与水文循环	2
1.2 水处理系统概述	4
1.2.1 给水处理	5
1.2.2 污(废)水处理	6
1.2.3 水体自净	8
1.2.4 水质监测	9
1.2.5 废水的回用	9
第 2 章 城市废水的性质与污染指标	10
2.1 概述	10
2.2 物理性质及指标	12
2.2.1 温度	12
2.2.2 固体	12
2.2.3 浊度	13
2.2.4 色度	13
2.2.5 臭和味	13
2.2.6 吸收/透射率	13
2.2.7 密度和相对密度	14
2.3 化学性质及指标	14
2.3.1 无机非金属组分	14
2.3.2 金属组分	16
2.3.3 有机化合物	17
2.4 生物性质及指标	17
2.4.1 大肠菌群数、大肠菌群指数	17
2.4.2 病毒	18
2.4.3 细菌总数	18

第 3 章 废水的处理	19
3.1 工程概述	19
3.1.1 工程概况	19
3.1.2 工艺流程	19
3.2 预处理	21
3.2.1 格栅	21
3.2.2 沉砂池	21
3.3 生物处理	22
3.3.1 微生物在废水处理中的作用	22
3.3.2 废水生物处理工艺的类型	23
3.3.3 活性污泥法	25
3.3.4 氧化沟	27
3.3.5 DE 型氧化沟的运行控制	28
3.3.6 常见问题及解决措施	30
3.4 消毒	31
3.4.1 消毒理论	31
3.4.2 氯消毒	32
3.4.3 臭氧消毒	35
3.4.4 紫外线(UV)消毒	36
3.4.5 废水消毒用氯、二氧化氯、臭氧和紫外线(UV)的优缺点	36
3.5 污泥的处理与处置	37
3.5.1 污泥特性指标	37
3.5.2 污泥浓缩	38
3.5.3 机械脱水	40
3.5.4 污泥的最终处置与利用	41
第 4 章 废水的再生	42
4.1 工程概述	42
4.1.1 工程概述	42
4.1.2 工艺流程	43
4.2 混凝、沉淀	44

4.2.1 混凝原理	44	6.2.4 软起动器	79
4.2.2 絮凝剂的主要作用机理	46	6.3 泵站辅助设备	80
4.2.3 影响絮凝作用效果的工艺条件	47	6.3.1 通风设备	80
4.2.4 加药	49	6.3.2 起重设备	80
4.2.5 混合设备——管式静态混合器	50	6.4 集水池	80
4.2.6 絮凝反应设备——波形板 反应池	50	6.4.1 集水池的作用	80
4.2.7 混凝过程	51	6.4.2 集水池的清理	80
4.2.8 沉淀设备——测向流波形斜板 沉淀池	51	6.5 泵站主要设备的检修与维护	81
4.3 过滤	54	6.5.1 泵的维护与检修	81
4.3.1 快速过滤原理	55	6.5.2 电动机的维护与检修	82
4.3.2 反冲洗	56	6.5.3 变频器的维护与检修	82
4.3.3 V型滤池	56	6.6 泵站管理	83
4.4 工艺性能评价	58	6.6.1 泵站的运行管理	83
4.5 其他深度处理方法	59	6.6.2 泵站的安全管理	84
4.5.1 吸附处理	59	第7章 加氯间操作系统	85
4.5.2 膜分离处理	61	7.1 加氯间消毒系统概述	85
第5章 废水的回用	63	7.1.1 消毒的目的	85
5.1 概述	63	7.1.2 消毒的方法	85
5.1.1 城市污水再生利用分类	63	7.1.3 消毒剂的投加点	85
5.1.2 术语的定义及水质指标	64	7.1.4 氯消毒系统流程图	85
5.1.3 水质指标监测方法	68	7.2 加氯间消毒操作设备	86
5.1.4 物理和化学参数的测量单位	68	7.2.1 漏氯报警装置	86
5.2 废水的回用	69	7.2.2 增压泵	87
5.2.1 回用现状	69	7.2.3 加氯机	87
5.2.2 新方向与新思虑	70	7.2.4 自动控制器	88
5.2.3 水回用问题的结论	72	7.2.5 水射器	88
		7.2.6 真空调节器	89
		7.2.7 蒸发器	89
		7.2.8 氯气泄漏吸收装置	90
		7.2.9 压力切换系统	91
第2篇 操作篇		7.3 加氯间生产操作流程	93
第6章 泵与泵站	74	7.3.1 开启系统	93
6.1 中水公司泵站概述	74	7.3.2 关闭系统	94
6.1.1 提升泵站	74	7.4 氯瓶的检验与吊装	95
6.1.2 加压泵站	75	7.4.1 氯瓶的检验	95
6.1.3 废水泵站	75	7.4.2 氯瓶的存放	95
6.2 泵站主要设备	75	7.4.3 氯瓶的吊装	96
6.2.1 水泵	75	7.5 常见问题及泄漏应急预案	96
6.2.2 电动机	76	7.5.1 加氯操作要注意的安全事项	96
6.2.3 变频器	78		

7.5.2 日常生产中应注意的问题	97	10.2 PLC 的结构与工作原理	119
7.5.3 事故紧急状态的确定及处置 方法	98	10.2.1 可编程序控制器的结构	119
7.5.4 疏散组织和疏散路线	98	10.2.2 PLC 的工作原理	121
7.5.5 应急设备的准备与使用	98	10.2.3 PLC 系统的其他设备	122
第 8 章 加药间操作系统	100	10.2.4 PLC 的通信联网	122
8.1 溶液制备系统	100	10.3 现场总线网络简介	122
8.1.1 制备原理	100	10.3.1 现场总线的特点	123
8.1.2 制备系统操作步骤	100	10.3.2 现场总线的优点	123
8.2 PAC 溶液投加系统	101	10.3.3 中水公司现场总线网络简介 ...	124
8.2.1 投加系统的组成	101	10.4 以太网与工业以太网的简介 ...	124
8.2.2 投加系统的工作原理	101	10.4.1 以太网的主要缺陷	125
8.2.3 投加系统操作步骤	101	10.4.2 以太网工业应用解决机制	125
8.3 加药操作设备	103	10.4.3 典型工业以太网	126
8.3.1 干粉投加机	103	10.5 中水公司自动化控制系统 概况	128
8.3.2 计量泵	103	10.5.1 自动化控制系统的软件、硬件 配置及网络环境	128
第 9 章 滤池的控制与运行	104	10.5.2 生产过程中各工序控制系统 ...	128
9.1 滤池	104	10.5.3 监控系统的组成	128
9.1.1 中水公司 V 型滤池的结构及其 设备	104	10.5.4 集中监控管理站	129
9.1.2 控制原理	104	10.6 中水公司仪表系统的构成	130
9.1.3 滤站控制系统的组成	105	10.6.1 监测仪表的设置	130
9.1.4 性能指标	105	10.6.2 工艺及仪表监测流程	130
9.1.5 主要技术特点	105	10.6.3 自控仪表编码说明	130
9.2 滤池的运行与反冲洗	106	10.7 中水公司自控系统功能说明 ...	131
9.2.1 滤池操作规程	106	10.7.1 提升泵房	131
9.2.2 滤池反冲洗	106	10.7.2 反应沉淀池	132
9.2.3 滤池常见问题及解决对策	107	10.7.3 加药间	132
9.3 滤池相关设备的运行与维护	108	10.7.4 滤站	133
9.3.1 鼓风机	108	10.7.5 反冲洗泵房及鼓风机房	134
9.3.2 反冲洗泵	111	10.7.6 加压泵房	134
9.3.3 空压机	112	10.7.7 废水调节泵房	134
9.3.4 定位器	115	10.7.8 加氯间	134
9.3.5 阀门	116	第 11 章 中水公司计算机监控系统	135
第 10 章 自动化控制	118	11.1 系统综述	135
10.1 概述	118	11.1.1 概述	135
10.1.1 PLC 的定义	118	11.1.2 功能组成	135
10.1.2 PLC 的发展历程	118	11.2 系统各操作界面简介	135
10.1.3 PLC 的特点与分类	118	11.2.1 工艺画面	135

11.2.2	提升泵房	136
11.2.3	加药间	136
11.2.4	反应沉淀池	136
11.2.5	滤站	136
11.2.6	滤站(二期)	136
11.2.7	加压泵房	136
11.2.8	计算机配置系统	137
11.2.9	网络接线图	137
11.2.10	厂区布置图	137
11.3	系统各操作界面简介	137
11.3.1	进入设备控制画面	137
11.3.2	各部分说明	138
11.4	系统各测量仪表画面简介	138
11.4.1	进入仪表画面	138
11.4.2	各部分说明	138
11.5	其他画面简介	138
11.5.1	趋势画面	138
11.5.2	报警画面	139
11.5.3	设备参数画面	139
11.5.4	帮助画面	139
11.5.5	关于报表	139
第12章	供配电系统	140
12.1	供配电系统与电力负荷	140
12.1.1	供配电装置	140
12.1.2	高低压电器设备	141
12.2	中水公司供配电系统	142

12.2.1	变压器室	142
12.2.2	总低压配电室	142
12.2.3	泵房配电室	142
12.2.4	中控配电室	143
12.2.5	加药间配电室	143
12.3	配电室日常操作规程	143
12.3.1	配电室安全操作规程	143
12.3.2	电气设备倒闸操作安全规程	144
12.3.3	不停电检修工作安全规程	144
12.3.4	停电检修工作安全规程	144
12.4	变配电设备的检修与维护	145
12.4.1	变压器的检修与维护	145
12.4.2	低压柜检修与维护	146
12.4.3	电容器柜维护	147
12.5	常见电工测量工具	147
12.5.1	万用表	147
12.5.2	绝缘电阻表	148
12.5.3	钳型电流表	148
12.6	供配电系统运行管理	148
12.6.1	供电设备运行中的巡视管理	148
12.6.2	异常情况的处置	149
12.6.3	变配电室的管理	150
12.6.4	供电设备的档案管理	150
参考文献		151

第 1 篇

工 艺 篇

西安市北石桥中水有限责任公司是一家典型的以城市污水处理厂二级生物处理出水作为水源的城市废水再生处理厂，本篇即以其生产工艺流程为核心，介绍其废水的再生与回用处理技术。

废水的再生与回用工艺系统从整体上而言，包括城市工业废水的厂内预处理、城市污水处理厂的净化处理和城市再生水处理厂的深度处理几个过程。其中工业废水的预处理往往因其特殊性和多样性自成一体，这一部分在专门介绍工业废水处理方法的书籍中有详细阐述，在此不作赘述。

对于城市污水处理厂和城市再生水厂，由于采用的是集中处理回用的方式，二者往往合建或紧密相关，成为一个完整的工艺体系。北石桥污水净化中心的深度处理工程，即北石桥中水有限责任公司的前身，前者的出水为后者的进水，出水的好坏直接影响到后续深度处理的效果，同时后者进水及处理效果的又可以作为前者处理效果的反馈，为其工艺调整提供参考，因此本篇将系统地对这一整套工艺体系及所涉及到的技术理论知识进行介绍。

第 1 章 总 论

1.1 水资源概述

水是人类生产和生活不可缺少的自然资源，也是生物赖以生存的环境资源和支撑国民经济健康发展的经济资源。随着社会的进步和经济的发展，城市化、工业化和农业集约化的进程，尤其是人口的增多，人类活动的失控，从根本上导致了水污染的日益严重，并在一定程度上改变了水循环，致使世界水资源日趋匮乏。随着水资源短缺在世界范围内的蔓延，水资源已经成为全世界共同关注的焦点之一。

1.1.1 世界与我国水资源现状

世界上较早使用“水资源”这一概念的是美国地质调查局 (USGS)。1894 年，其下设立水资源处，主要业务范围是对地表河川径流和地下水的观测。1963 年，英国通过了水资源法，其中对水资源定义为“具有足够数量的可用水源”。1977 年联合国教科文组织 (UNESCO) 建议“水资源应指可以利用或有可能被利用的水源，这个水源应具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”



地球上总的水体积大约为 14 亿 km^3 ，其中淡水仅占 2.5%，而且大部分以永久性冰雪的形式封存于南极洲和格陵兰岛，可供人类利用的部分只有 20 万 km^3 。全球淡水资源分布极不平衡，主要的淡水资源大多分布在巴西、俄罗斯、美国、印尼、加拿大、中国、孟加拉、印度、委内瑞拉、哥伦比亚等国家和地区。

而且，由于工业废水和生活污水的排放导致水质下降和由此所造成的经济损失、生态破坏和健康损害更是严重。据联合国发表的《世界水资源综合评估报告》显示，目前世界上有 53 个国家和地区（占全球陆地面积的 60%）缺水。到 2025 年，全世界人口将增加至 83 亿，生活在水源紧张和经常缺水国家的人数，将从 1990 年的 3 亿增加到 2025 年的 30 亿，后者为前者的 10 倍，第三世界国家的城市面积也将大幅度增加，除非更有效地利用淡水资源、控制对江河湖泊的污染，更有效地利用净化后的水，否则，全世界将有 1/3 的人口遭受中高度到高度缺水的压力。

与世界各国相比，我国的淡水资源总量约为 28000 亿 m^3 ，占全球水资源的 6%，居世界第六位。但是，按照 1997 年人口统计，我国的人均水资源量为 2220 m^3 ，相当于世界人均占有量的 1/4，位于世界第 88 位，是全球人均水资源最贫乏的国家之一。预测到 2030 年，我国的人口将达到 16 亿，人均水资源量还将下降到 1760 m^3 。按国际上一般标准，人均水资源少于 1700 m^3 为用水紧张的国家。

我国水资源时空分布极不均匀，洪涝干旱灾害频繁，水污染普遍严重，浪费现象也十分严重。这些因素的综合结果使我国可利用的水资源日益短缺。全国 31 个省、自治区和直辖市有一半以上人均占有水量低于全国平均量。因此，我国未来水资源形势是非常严峻的。水已经成为制约国民经济发展和人们生活水平提高的重要因素。为了实现水资源的合理开发和利用，采取的对策与措施的第一条就是“多渠道开辟水资源”。在这里，城市废水的再生利用和其资源化是一项重要而且切实可行的措施。

1.1.2 污水资源化与水文循环

污水资源化，顾名思义，即将在水环境代谢系统中产生的废水经过合理有效的净化处理后达到可以再次使用的过程。

一方面城市缺水十分严重，一方面大量的城市污水白白流失，既浪费了资源，又污染了环境。与城市供水量几乎相等的城市污水中，所含污染物质只有 0.1%，与海水所含杂质约 3.5% 相比要少得多，其余绝大部分是可再利用的清水。而且城市污水就近可得，易于收集，再生处理比海水淡化成本低，处理技术比较成熟，基建投资也比远距离引水经济得多。早在 19 世纪，随着排水系统的出现，即在农田灌溉中使用了生活污水，这是污水资源化概念的最早应用实例。在 1900 年以前，欧洲和美国就有了大批以污水灌溉的农田。现在在世界的许多国家和地区，城市污水已被选为可靠的第二水源，有些国家还规定在城市污水未被充分利用之前，禁止将其随意排到自然水体中去。

例如以色列是水资源极为短缺的国家，水资源短缺促进了以色列在污水净化和回收利用领域的发展，其技术处于世界先进水平。以色列立法规定要充分利用废水。城市中的水至少回用一次，污水回用后用于农业灌溉、工业企业、市民冲厕、河流复苏等方面。全国 90% 的污水收集排放，80% 经过处理，最后有 60%~65% 的处理后的污水实现回用。这些再生水中有 42% 用于灌溉，30% 回灌地下。

又比如日本早在 1962 年就开始回用污水，70 年代已初见规模。90 年代初日本在全国范



围内进行了废水再生回用的调查研究与工艺设计,对污水回用在日本的可行性进行深入的研究和工程示范,在严重缺水的地区广泛推广污水回用技术,这些有力举措使日本近年来的取水量逐年减少,节水已初见成效。例如赖沪内海地区污水回用量已达到该地区用淡水总量的 $2/3$,新鲜水取水量仅为用淡水量的 $1/3$ 。1991年日本的“造水计划”中明确将污水再生回用技术作为最主要的开发研究内容加以资助,开发了很多污水深度处理工艺。日本各大城市已基本普及节水型住宅,即利用净化装置收集浴室等中水用于冲厕或浇灌绿地,同时积蓄和利用雨水,节水率最高为 50% ,平均达到 36% 。同时,英国WD公司(Water Dynamics Co., Ltd.)发明的专利技术SMR,即灰水(Greywater)和雨水(Rainwater)收集再利用技术成功地解决了中水处理技术难题,该技术采用简单的设备就可有效处理已收集的中水和雨水,出水水质符合欧洲BRE标准,从而完全满足低水质用水需求。

美国污水回用也取得很大进展。佛罗里达州的圣彼得斯堡1978年开始将再生水回用于生活杂用水,目前已能够向7000多户家庭提供再生水。1992年美国国家环保局制定的水再生利用导则中列举了大量的示范工程,并制定了相应的政策、法规和标准,以便更好的推广此项节水措施。目前,美国有357个城市回用污水,再生回用点536个。全国城市污水回用总量约为 $9.4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{年}$,其中灌溉用水占总回用量的 60% ,工业用水占总用水量的 30% ,城市生活等其他方面的回用水量不足 10% 。

俄罗斯、西欧各国、印度、南非和纳米比亚的污水回用事业也很普遍。原苏联有36个工厂利用处理后的城市污水,每天回用量达555万 m^3 ,莫斯科市东南区有36家工厂用污水总量达 $5.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,南非的约翰内斯堡每天有0.94万 m^3 饮用水来自再生水工厂;纳米比亚于1968年建起了世界上第一个再生饮用水工厂,日产水6200 m^3 ,水质达到世界卫生组织和美国环保局公布的标准。

我国污水资源利用的发展起步于20世纪60年代。“六五”期间分别在大连、青岛作了试验探索,“七五”、“八五”、“九五”期间,污水资源化相继列入了重点科技(攻关)计划,取得了一大批数据科技成果,建设了一批示范工程,对我国的污水资源化工作起到了很好的推进作用。例如北京市1984年开始进行中水回用工程示范,并在1987年出台的《北京市中水设施建设管理试行办法》中明确规定:凡建筑面积超过2万 m^2 的旅馆、饭店和公寓以及建筑面积3万 m^2 以上的机关科研单位和新建生活小区都要建立中水设施。北京市的中水设施建设得到较快发展,1995年北京市已有中水设施115个,日回用污水已达1.2万 m^3 ,中水建设已初具规模。“十五”纲要明确把“水资源的可持续利用和污水处理回用”写入“第十个五年计划发展纲要”和新《水法》(2002年10月1日执行)中。在朱镕基针对南水北调工程提出的“先节水后调水,先治污后通水,先环保后用水”的“三先三后”原则中,污水资源化处于重要地位。国家经贸委和建设部联合发文,对创建节水城市提出量化考核指标,其中污水处理回用是指定考核项目。2002年国家相继出台了有关污水再生利用设计、验收及回用水质等6项规范和标准:《城市污水处理厂工程质量验收规范》(GB 50334—2002)、《污水再生利用工程设计规范》(GB 50335—2002)、《建筑中水设计规范》(GB 50336—2002)、《城市污水再生利用分类》(GB/T 18919—2002)、《城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)、《景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)。我国的污水资源化逐步走入正轨。

水文循环是由天然水如淡水、咸水、地表水、地下水以及大气中的水蒸气等所组成,用于描述水在环境中连续的传输过程。从污水资源化的角度而言,水文循环除了自然界的水循

环之外还包括人类社会对水的传输过程，即水的利用、废水的再生与回用是整个城市、工业、农业地区中水文循环的重要组成部分。从地表水源和地下水源到处理装置、灌溉、生活和工业的应用以及到废水的处理、再生和回用装置，水循环的总过程如图 1-1 所示。

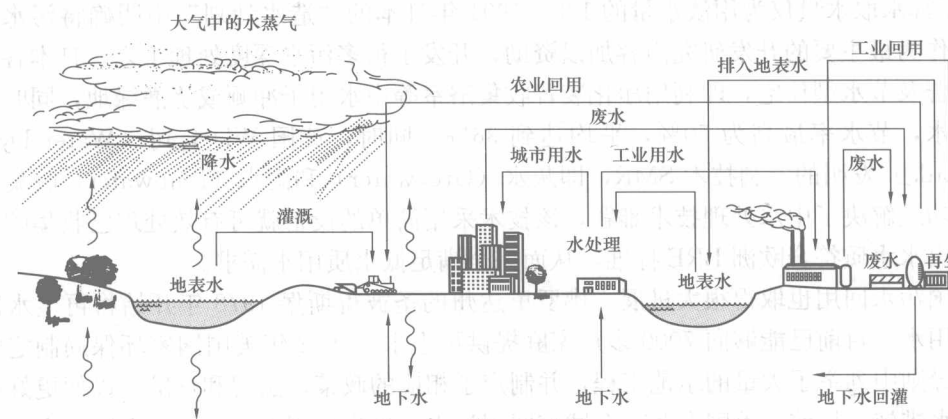


图 1-1 水循环总体示意图
(摘自 Asano 和 Levine, 1996)

1.2 水处理系统概述

从水质角度考虑，人类社会上的水大致可分为 3 大类，即天然水（地表水与地下水）、使用水（生活与生产用水）和污（废）水（生活与生产使用过的水）。水处理则是这 3 种水质类型转化的重要手段，从而构成了水的社会循环，这种关系如图 1-2 所示。

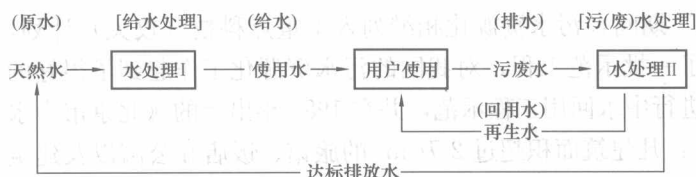


图 1-2 水处理系统示意图

水处理是对水质成分的变革，以及采用各种必要的物理、化学或生物学的技术，将水中的污染物分离除去，使水质达到所要求水质标准的一种加工过程。按照原水水质性质类别的不同，水处理通常分为给水处理和污（废）水处理 2 大类。近年来由于天然水源水质不断被污染以及污水资源化的逐步实施，原来 2 类水处理工艺技术的隶属关系正在模糊，界限日益淡化。比如给水处理中的典型处理工艺：混凝、沉淀、过滤、消毒，同样用于污（废）水处理和深度处理，污（废）水处理过程中常见的生物处理法也会根据实际情况在给水处理系统中加以应用。

水处理系统涵盖给水处理、废水处理和废水再生整个系统，随着自然环境和人类社会发展的需要，对于水处理各种方法的应用不再局限于某一个领域，而是相互交叠，通过最佳组合，达到净化水质的目的。

水处理工艺由若干不同功能的水处理工序和输配水联络管渠所组成。每个处理工序都有一种主要处理构筑物或设备。随着水处理技术的不断发展，同一功能处理设施的类型也在不断增多。



1.2.1 给水处理

给水处理的目的通过各种必要的处理技术改善原水水质，使它符合生活饮用和工业使用的要求。水处理技术需要根据原水水质和出水水质的要求加以确定，处理过程通常由城市给水厂完成。

给水厂是城镇供水的生产工厂，按照水源不同，分地下水和地表水 2 类水厂。地下水水厂的加工工艺较简单，一般只经过消毒处理即可。若地下水中所含铁、锰或氟超标时，还需进行除铁、除锰或除氟等特殊处理。

地表水厂也叫净水厂，其常规处理工艺为：原水—混凝—沉淀（澄清或气浮）—过滤—消毒—饮用水。主要是利用物理—化学作用使浑水变清并去除致病菌，使水质达到生活饮用水水质标准。由于水源水质的千差万别，处理工艺可有多种组合和选择，但过滤和消毒是必不可少的。

20 世纪 70 年代以来，由于水源成分更为复杂，特别是有机物污染，采用常规处理工艺不能去除。为此，对常规工艺往往还应增加预处理或深度处理的工艺技术措施。

表 1-1 常见水处理方法及处理对象

处 理 技 术	处 理 对 象						
	悬浮物	胶体物质	有机物	无机物	氮	磷	嗅
混 凝 技 术	√√	√√	√				
过 滤 技 术	√√						
吸 附 技 术	√		√√	√√			√√
膜分离技术	√√		√	√	√	√	√
消 毒 技 术			√√		√		√

注 表中“√”数量的多少表示处理效果的强弱程度。

(1) 混凝技术。

混凝的作用是通过投加适当的药剂经过絮凝作用使水中的悬浮物和胶体物质形成大颗粒易沉降的絮凝体，沉淀后进行分离。历史上很早以前就有以明矾净水的记载，直至今日，我国水厂仍采用铝盐或铁盐为无机混凝剂。近年来也研究开发和应用了一些新的混凝剂如无机聚合态的混凝剂（聚合氯化铝和聚合硫酸铝等）和一些有机高分子絮凝剂（如聚丙烯酰胺等）。

(2) 过滤技术。

过滤技术是利用滤料截面的过滤作用达到水与杂质分离的目的。常用的过滤介质或滤料有砂（石英砂、海砂等）、无烟煤、微孔塑料、陶瓷等，选择不同粒径的滤料可以去除水中不同粒度的杂质，所以过滤除了对降低水的浊度有很好的效果外，对水中部分有机物、微生物和细菌的去除也有一定的作用。

(3) 吸附技术。

吸附是指一种物质附着在另一种物质表面的过程。这一过程可以发生在气—液、气—固和液—固两相之间。许多多孔的固相物质可作为吸附剂，例如活性炭、木屑、活化煤、焦炭、吸附树脂等，其中活性炭的应用最为广泛。

在净水处理过程中，活性炭吸附技术可以去除微量有害物质及嗅味等，尤其是对水中的



有机污染物有很好的去除效果；此外，活性炭吸附在废水处理中也有广泛应用，如用于去除难生物降解或化学氧化的少量有害物质，如脱色、去除洗涤剂 and 杀菌剂以及铬、镉、汞等一些重金属离子。近年来在新的吸附剂方面又发展了有关的离子交换树脂和 KDF（一种净水材料）等吸附剂，其中部分已在净水处理中应用。

（4）膜分离技术。

膜分离技术是利用特殊的有机高分子或无机材料制成的膜将溶液隔开，使溶液中的某些溶质或水渗透出来，以达到分离的目的。膜分离技术具有分离截面效果好、一般没有相态的变化、设备容易操作、便于产业化等优点，但和其他处理方法相比较，膜分离技术对于处理的要求较高、处理能力相对较小，另外膜的堵塞与清洗等问题也是需要注意的。

（5）消毒技术。

消毒主要是杀灭或抑制水中对人体有害的致病微生物和细菌。

1.2.2 污（废）水处理

城市废水是由城市排水系统汇集的城市居民生活污水和工业企业排放的工业废水以及被污染的雨水的总称。

生活污水是人类在日常生活中使用过的水。

工业废水的水量、水质对城市废水影响较大，由于接纳的工业废水的水量不同、水质千变万化，所以各地的城市废水也各不相同。

被污染的雨水，主要是指初期雨水。这是由于初期雨水冲刷了地表的各种污物，污染程度很高。

假如让未经处理的废水集存起来，让其腐化，其中有机物的分解将导致令人讨厌的环境，并产生大量恶臭的气体。此外，在未处理的废水中还含有寄生于人体肠道内的大量病原微生物，以及能促进水生植物生长的各种营养物质，也可能含有有毒化合物和致突、致癌化合物。为此，从保护公众健康和保护环境角度出发，必须使废水从其生产源即直接去除或减轻危害，随之进行处理、回用和向环境排放。

1. 废水处理的基本方法

废水处理的基本方法，就是采用各种技术手段，将污水中所含的污染物质与水分离或加以分解、回收利用或将其转化为无害物质，使水得到净化。

现代废水处理技术，按原理可分为物理处理法、化学处理法、生物化学处理法 3 类。

① 物理处理法：利用物理作用分离废水中呈悬浮状态的固体污染物质。主要方法有筛滤法、沉淀法、上浮法、气浮法、过滤法和反渗透法等。

② 化学处理法：利用化学反应的作用，分离回收废水中处于各种形态的污染物质（包括悬浮的、溶解的、胶体的等）。主要方法有中和、混凝、电解、氧化还原、汽提、萃取、吸附、离子交换、电渗析等。化学处理法多用于处理生产废水。

③ 生物化学处理法：利用微生物的代谢作用，使废水中成溶解、胶体状态的有机污染物

转化为稳定的无害物质。主要方法可分为 2 大类：即利用好氧微生物作用的好氧法和利用厌氧微生物作用的厌氧法（如图 1-3 和图 1-4 所示）。前者广泛用于城市废水处理，其中有活性污泥法和

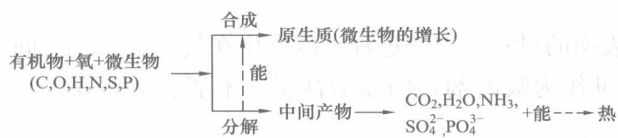


图 1-3 好氧生物处理的过程和原理示意图



生物膜法 2 种；后者多用于处理高浓度有机废水与废水处理过程中产生的污泥。

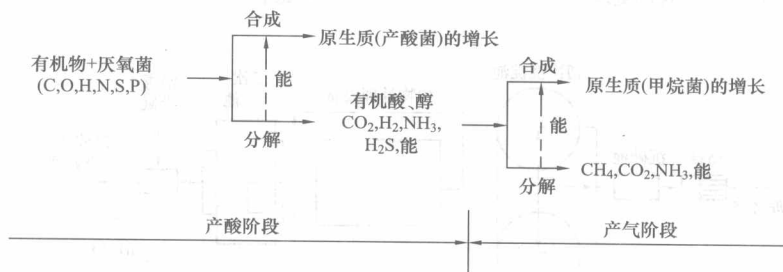


图 1-4 厌氧生物处理的过程和原理示意图

现代废水处理技术按处理程度可分为一级处理、二级处理、三级处理。

① 一级处理：主要是去除废水中呈悬浮状态的固体污染物质，从大块垃圾到颗粒粒径为数毫米的悬浮物（非溶解性的和溶解性的）。经过一级处理后的废水，有机污染物质一般只能去除 30% 左右，达不到排放标准。物理处理法大部分只能完成一级处理的要求。

一级处理是二级处理的预处理。

② 二级处理：主要是去除废水中呈胶体和溶解状态的有机污染物质（以 BOD 或 COD 表示），去除率可达 90% 以上，同时也能脱磷除氮。通过二级处理，废水的 BOD₅ 值可降至 20~30mg/L，一般可达到排放水体和灌溉农田的要求。

③ 三级处理：是在一级、二级处理后进一步处理难降解的有机物、氮和磷等能够导致水体富营养化的可溶性无机物等。主要方法有生物脱氮除磷、混凝沉淀（澄清、气浮）、过滤、活性炭吸附、离子交换、膜技术、膜—生物反应器、曝气生物滤池、臭氧氧化及自然净化等。

三级处理是深度处理的同义语，但两者并不相同。三级处理常用于二级处理之后；而深度处理则是以废水的回收、再用为目的，在一级处理或二级处理后所增加的处理工艺。

污泥是废水处理过程中的必然产物，其中含有大量细菌、寄生虫卵以及重金属离子等，需要做稳定和无害化处理，否则会造成二次污染。另外，污泥中还含有大量有机物，富有肥分，处理后可以作为农肥使用。

污泥处理的主要方法是减量处理（如浓缩法、脱水等），稳定处理（如厌氧消化法、好氧消化法等），综合利用（如消化气利用、污泥农业利用等），最终处置（如干燥焚烧、填地投海、建筑材料等）。

城市废水中的污染物质种类繁多，往往需要采用几种方法组合，才能达到净化的目的和排放标准。城市废水处理的典型流程见图 1-5 所示。

2. 工业废水的分类

(1) 按行业的产品加工对象分：冶金废水、造纸废水、纺织印染废水、农药废水、化学肥料废水等。

(2) 按工业废水中所含主要污染物的性质分：无机废水和有机废水。

(3) 按废水中所含污染物的主要成分分：酸性废水、碱性废水、含酚废水、含氟废水、含有机磷废水等。

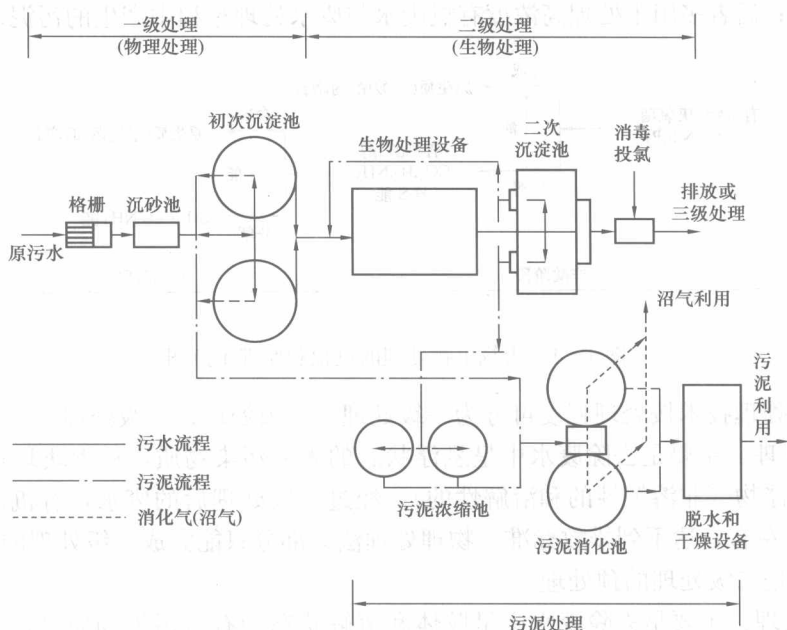


图 1-5 城市废水处理典型流程图

(4) 按废水处理的难易程度和废水的危害性分：易处理、危害性小的废水，如生产过程中产生的热排水或冷却水，对其稍加处理，即可排放或回用；易生物降解、无明显毒性的废水，可采用生物处理法；难生物降解又有毒性的废水，如含重金属的废水、含多氯联苯和有机氯农药的废水等，这些废水需采用有针对性的处理。

3. 工业废水处理方法

工业废水处理方法包括：物理处理法、化学处理法、物理化学处理法和生物处理法。

(1) 物理处理法：可分为调节、离心分离、沉淀、除油、过滤等。

(2) 化学处理法：可分为中和、化学沉淀、氧化还原等。

(3) 物理化学处理法：可分为混凝、气浮、吸附、离子交换、膜分离等方法。

(4) 生物处理法：可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法。

根据世界工业发达国家普遍的实践经验来看，水污染综合防治最有效的途径之一是由市政部门建设统一的城市污水处理厂，经过城市排水系统汇集，对城市废水进行综合处理。其主要优点有：

- ① 建设费用与运行费用较低。
- ② 占地面积小，不影响环境卫生。
- ③ 便于运行管理，节省管理人员。
- ④ 能够保证处理效果。

1.2.3 水体自净

污染物随废水排入水体后，经过物理的、化学的和生物化学的作用，使污染物的浓度降低或总量减少，受污染的水体部分的或完全的恢复原状，这种现象称为水体自净或水体净化。

水体自净过程非常复杂，按机理可分为 3 类，其中生物化学净化过程是水体自净的主要