

高等学校教材

主 编 王小文

副主编 张雁秋



水污染控制工程

SHUIWURAN KONGZHI GONGCHENG

煤炭工业出版社

高等学校教材

水污染控制工程

主 编 王小文

副 主 编 张雁秋

编写人员 宋志伟 石顺存 许光泉

主 审 张希衡

煤炭工业出版社

内 容 提 要

全书共9篇22章,主要内容包括绪论、悬浮物及胶体的分离处理、溶解态污染物的化学转化处理、溶解态污染物的物理化学分离处理、有机污染物的生物化学转化处理、废水深度处理与再用、污泥处理与处置、废水处理厂规划与设计、矿业水污染及其防治。

本书重视基本理论和基本概念的严谨性,注意吸收水处理的新理论、新技术和新设备,在内容编排上力求体现各部分内容之间的有机联系。书中还给出了一定量的例题、习题和思考题,以帮助学生深入理解书本内容,培养学生的基本专业素质、基本工程思维与思想方法和分析解决实际问题能力。

本书为高等院校本科环境工程专业教学用书,也可作为其他相近专业的教材或教学参考书,并可供从事环境工程设计、管理及科研工作的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程/王小文主编. —北京:煤炭工业出版社,
2002

高等学校教材

ISBN 7-5020-2185-X

I. 水… II. 王… III. 水污染—污染控制—高等学校
—教材 IV. X52

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第041384号

高等学校教材

水污染控制工程

主编 王小文 副主编 张雁秋

责任编辑:李振祥 李小波

煤炭工业出版社出版

(北京市朝阳区芍药居15号 100029)

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092mm $1/16$ 印张 23 $1/2$

字数 554 千字 印数 1—3,000

2002年8月第1版 2002年8月第1次印刷

社内编号 4956 定价 32.70 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

教材编委会

主 任 窦庆峰

副 主 任 孙旭东

执行副主任 王捷帆

委 员 (以姓名笔画为序)

马广大 马云东 王小文 王丽萍 巨天乙

孙广义 朱书全 齐永安 严家平 张希衡

张雁秋 杨云龙 杨梅忠 陈安国 易平贵

胡 斌 赵国华 徐明德 桂和荣 顾 强

程建光 韩宝平

前 言

《水污染控制工程》是煤炭工业出版社为适应实际教学需要而组织出版的具有一定矿业特色的环境保护专业系列教材之一。全书共9篇22章，主要内容包括绪论、悬浮物及胶体的分离处理、溶解态污染物的化学转化处理、溶解态污染物的物理化学分离处理、有机污染物的生物化学转化处理、废水深度处理与再用、污泥处理与处置、废水处理厂规划与设计、矿业水污染及其防治。

绪论篇系统阐述了水圈、水资源、水的自然循环、社会循环与水体污染间的相互关系，以及废水种类及其表征要素，水污染物的种类、危害，水质指标与水质标准，废水处理基本方法、废水处理系统、废水的预处理等水污染控制基础知识。涉及处理技术的部分是根据不同的处理原理而设章，针对具体处理技术的基本原理、净化效率影响因素、工艺系统构成、主要设备结构及特点、辅助设备的作用以及该技术的最新发展等做出系统全面的阐述。矿业水污染及其防治部分则系统论述了主要矿业废水的来源、危害、主要污染物及矿业废水的主要处理技术。

本书重视基本理论和基本概念的严谨性，注意吸收上世纪80年代末以来水处理领域的新技术、新动态和新应用，在内容编排上力求体现各部分内容之间的有机联系，兼顾体现矿业特色与教材的通用性。为理论联系实际，便于学生深入理解书中的内容，除在每章给出近年来国内外的应用实例之外，还给出了一定量的计算例题、习题和思考题，以培养学生的基本专业素质、工程的基本思维方法和分析解决实际问题能力。

本书为高等院校四年制本科环境工程专业教学用书，也可作为其他相近专业的教材或教学参考用书，并可供从事环境工程设计、管理及科研工作的人员参考。本书适用于课内教学学时数为100学时的本科教学使用。

参加本书编写的有王小文（第一、二、十、十一、十二章）、宋志伟（第三、四、五、六、十九章）、石顺存（第七、八、九、十三、十九章）、许光泉（第十四、十六、十七、十八、二十章）和张雁秋（第十五、二十一、二十二章）。全书由王小文主编并统稿，张雁秋副主编对初步统稿提出了许多宝贵意见。本书由西安建筑科技大学张希衡教授主审。

在本书编写过程中，参阅了大量近年来出版的水处理文献资料，各参编院

校在人员、资金、时间上给予了全力的支持，煤炭工业出版社对本书的编写和出版做了大量的工作，在此一并表示衷心感谢。由于编者水平所限，书中不妥和错误之处，敬请批评指正。

编 者

2002 年 5 月

目 录

第一篇 绪 论

第一章 水环境与水体污染	2
第一节 水圈、水资源与水体污染	2
第二节 水体污染防治	5
第二章 水污染控制基础知识	8
第一节 废 水	8
第二节 水污染物与水质指标	9
第三节 水质标准	16
第四节 废水处理的基本方法	20
第五节 废水处理系统	22
第六节 废水的预处理	25

第二篇 悬浮物及胶体的分离处理

第三章 重力沉降法	32
第一节 概 述	32
第二节 沉降过程的基本理论	32
第三节 理想沉淀池	38
第四节 沉淀池	39
第四章 混凝澄清法	52
第一节 概 述	52
第二节 胶体结构与混凝机理	52
第三节 混凝剂、助凝剂及其作用机理	57
第四节 混凝效果的影响因素	61
第五节 混凝澄清工艺及设备	62

第五章 浮力浮上法	67
第一节 隔 油	67
第二节 气浮原理	70
第三节 气浮工艺及设备	75

第六章 悬浮物及胶体的其他分离方法	81
第一节 离心分离法	81
第二节 磁力分离法	84

第三篇 溶解态污染物的化学转化处理

第七章 中和法	88
第一节 概 述	88
第二节 基本原理	88
第三节 酸、碱废水互相中和法	89
第四节 投药中和法	89
第五节 过滤中和法	91

第八章 化学沉淀法	94
第一节 概 述	94
第二节 基本原理	94
第三节 氢氧化物沉淀法	94
第四节 硫化物沉淀法	99
第五节 其他化学沉淀法	100

第九章 化学氧化还原法	104
第一节 概 述	104
第二节 化学氧化法	106
第三节 化学还原法	114
第四节 电化学法	115

第四篇 溶解态污染物的物理化学分离处理

第十章 吸附法	122
第一节 吸附的基本原理	122
第二节 吸附剂	127

第三节	吸附工艺及设备	129
第四节	吸附剂的再生	135
第五节	吸附法在废水处理中的应用	136
第十一章	离子交换法	140
第一节	离子交换剂	140
第二节	离子交换基本原理	143
第三节	离子交换设备与工艺过程	147
第四节	离子交换工艺的设计	152
第五节	离子交换法在废水处理中的应用	153
第十二章	膜分离技术	156
第一节	概 述	156
第二节	扩散渗析法	157
第三节	电渗析法	158
第四节	反渗透法	165
第五节	超滤法	174
第六节	微滤法	180
第七节	液膜分离技术	181
第十三章	溶解态污染物的其他相转移分离法	185
第一节	吹脱法和汽提法	185
第二节	萃取法	188
第三节	蒸发法	190
第四节	结晶法	192
第五节	冷冻法	194

第五篇 有机污染物的生物化学转化处理

第十四章	生物处理总论	196
第一节	微生物的新陈代谢及污染物的降解	196
第二节	微生物生长的影响因素及增长规律	197
第三节	废水生物处理及分类	201
第十五章	活性污泥法	204
第一节	概 述	204
第二节	活性污泥	205
第三节	活性污泥去除有机物的规律	211

第四节	曝气原理和曝气池	217
第五节	活性污泥法系统的运行方式	225
第六节	活性污泥法系统的工艺设计	235
第七节	活性污泥系统的运行管理	241
第十六章	生物膜法	246
第一节	生物滤池	246
第二节	生物转盘	255
第三节	生物接触氧化法	262
第四节	生物流化床	268
第十七章	厌氧生物处理	271
第一节	厌氧生物处理基本原理	271
第二节	厌氧生物处理方法	274
第三节	厌氧生物处理设计	279
第十八章	自然条件下的生物处理	285
第一节	概 述	285
第二节	生物处理系统	286
第三节	土地处理系统	290

第六篇 废水深度处理与再用

第十九章	废水深度处理与再用	298
第一节	概 述	298
第二节	过 滤	300
第三节	脱 氮	308
第四节	除 磷	312
第五节	消 毒	316

第七篇 污泥处理与处置

第二十章	污泥处理与处置	324
第一节	概 述	324
第二节	污泥浓缩	326
第三节	污泥脱水	329
第四节	污泥稳定	333

第五节 污泥调节..... 338

第六节 污泥利用与处置..... 339

第八篇 废水处理厂规划与设计

第二十一章 废水处理厂规划与设计..... 342

第一节 规划设计与厂址选择..... 343

第二节 工艺流程选择及平面、高程布置..... 344

第九篇 矿业水污染及其防治

第二十二章 矿业水污染及其防治..... 352

第一节 概 述..... 352

第二节 矿业废水的主要来源和危害..... 353

第三节 矿业废水中的主要污染物..... 355

第四节 矿业废水的主要处理技术..... 355

主要参考文献..... 363

第一篇

绪 论

第一章 水环境与水体污染

第一节 水圈、水资源与水体污染

水作为地球自然地理环境的基本要素以及一切生命新陈代谢和物质生产活动不可缺少的介质和液体，是地球上一切生物赖以生存和发展的重要物质。当今人类社会所面临的人口、资源、环境的危机问题，都和水资源的质量密切相关。水资源在时空上的分布不均，特别是人类活动所导致的水环境污染，已使水资源在量与质上的严重亏缺和污染成为较为严峻的环境问题，并对人类的健康及其生产、生活活动构成威胁。采取积极的综合措施防治水体污染，保护好水环境，才能使人类得以持续地开发和利用水资源，进而实现自身的可持续发展。

一、水圈与水的自然循环

水圈是地球表面和接近地球表面的各种形态水的总称。它包括海洋、河流、湖泊、沼泽、冰川以及土壤和岩石孔隙中的地下水、岩浆水、聚合水，以及生物圈中的体液、细胞内液、生物聚合水化物等。

水是自然界广泛存在的一种无机物质。在太阳能及其他自然力的作用下，自然界的水经常处于流动和循环状态。例如，地球表面的水（以海洋为主）在太阳辐射热的作用下，不断蒸发为水蒸气，被气流挟带至空中形成云，并随大气环流运动输送迁移到各地，在适当的气象条件下凝结，以雨水或冰雪形式降落到地面；落到地面的降水或是向地下渗透形成地下径流的地下水，或是沿地表流动成为地表径流汇入江河湖泊；地表水和地下水在流动过程中相互补给转换，最终汇入海洋；而已成为江河湖海中的水，也会重新蒸发成水蒸气，再在适当条件下凝结降落。水通过自然过程在海、陆、空、生物之间不断往复循环，构成自然界中水的自然循环。

水的自然循环是地球上最重要的物质能量循环之一。在地球系统差异纷呈的各种过程中，水起着全球性的作用。正是水的自然循环把各个特征不同的水体联系起来形成了水圈，在自然地理环境中更新着自然环境和自然资源，维持着地球水圈的动态平衡，并在地球的地形变化、气候调节和生物化学循环中发挥重要的作用，为地球生物的生存提供了必要的环境条件。因此，水作为地球上生命的源泉，是人类和一切生物赖以生存和发展的最基本物质资源。没有水，地球的万籁生机将不复存在。

二、水资源与水的社会循环

（一）水资源

相应于地球上其他种类的物质资源而言，水在自然界的分布最广，总储量也最为丰富。在整个水圈中，水的总储藏量约 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，但其中有 $13.38 \times 10^8 \text{ km}^3$ 是海水，占总储

量的 96.6% 以上。海水含有大量矿物盐类和其他杂质，既不能饮用，也不适于做工业生产的介质或农业灌溉。水圈中淡水的储量约为 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，仅占水圈总储藏量的 2.53%，而这部分淡水储量中，有 68.7% 主要以冰川雪帽的形式冷储于南北极地，另有 30.1% 为地下水和土壤水，大气中的水蒸气又占去约 0.04%。因此，存在于江河湖泊中有可能为人类直接取用的淡水量仅占水圈总淡水量的 0.36%，而这部分淡水除了必须在原地保留相当的数量，以维持水的自然循环和水环境的生态平衡之外，还存在着由于季节和地域的差异所造成的在时空分布上的严重不均。例如，占我国国土面积 53% 的东南地区占有全国约 93% 的淡水总量，而国土面积约占 47% 的西北地区却仅拥有全国淡水总量的 7%，并且这 7% 淡水的主要补给来源是天然降水，多集中在雨季的 7、8、9 月，因而在相当大的时空范围造成水资源的极度匮乏。除了水环境的自然因素在水质、水量方面所具有的上述特点之外，人类生产、生活所排放的大量废水对水体环境所造成的普遍污染，也进一步加剧了水体水质的恶化，因此真正可为人类生产生活所用的淡水总量是极为有限和十分珍贵的。

水资源是指在当今经济技术条件下可为人类利用的那部分水量。它主要包括地表水、地下水和土壤水。由水资源的定义可以看出，水资源与自然界水圈中的水在具体内涵上有明显的区别。除在总量上的巨大差异以及增加了水在质量方面是否可以满足作为资源使用的要求之外，对于实际使用更为重要的还必须满足取用的技术经济可行性。例如，中国香港特别行政区在地理位置上，四周为水所环绕，但该区域生产、生活用水主要依靠引自广东的东江输水工程。又例如，在技术经济可行的条件下，将水资源丰富地区的水资源适度调配到一定距离之外的缺水区域，国内外有许多成功的例子。如将我国东南地区丰沛的淡水远距离输送到水资源极度匮乏的西北干旱地区，则需就其技术经济的可行性以及是否会对相关地域的生态环境产生不利的影响进行充分论证。

(二) 水的社会循环

水环境是人类社会赖以生存和发展的最重要场所。从远古时期开始，人类就追逐水草而居，现代社会的生产、生活更是离不开水资源。人类为了满足自身生产、生活的需求，不断地从自然环境中汲取和利用水资源，所取用的水只有少量被消耗，绝大部分以生活污水、生产废水或农业退水的形式排放，最终进入下游的天然水体，从而形成了水在人类活动干预下的特定的局地循环。这种由人的社会需要所促成的水的局地循环称作水的社会循环。水的社会循环过程如图 1-1 所示。

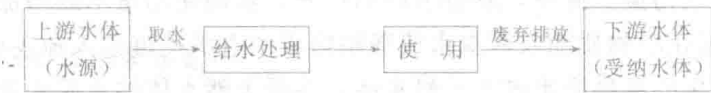


图 1-1 水的社会循环示意图

水的社会循环由给水、使用、排水 3 个环节构成。为保证用户的使用要求借助工程措施从天然水体取水供给用户使用的整套设施设备称作给水工程；为保证废弃外排的废水安全排放或再用而采取的整套工程处理设施设备称作排水工程。完善的给排水系统是现代化城镇必备的基础条件之一。

随着社会与经济的发展，人类的生活、生产活动不断呈现多样化、复杂化的发展趋势，导致天然水体开采规模的不断增加，并使进入社会循环的水在成分及物理化学性质上发生

显著的变化。当排水工程的功能不完善时,仅把废水通过管道、沟渠等直接排入下游水体,并未进行有效的净化处理,将会导致对水环境质量的不利影响,严重时还会造成环境污染。

三、水体污染

1. 水体污染的定义

通常把水在自然循环过程中由自然界释放并进入水中的化学物质称作自然杂质或本底杂质。例如,天然水流经含有可溶性矿物质的河床时,其盐分含量会因矿物质的溶入有所增加;火山爆发会使大量的火山灰飘落进入天然水体等等。一般情况下,自然杂质的存在并不影响对淡水资源的使用。

与自然杂质概念相对应,通常把由人类的生产、生活活动产生的,进入环境后使环境的组成和性质发生直接或间接有害于人类的变化的物质称为环境污染物,简称为污染物。由人类的生产、生活活动产生的,进入水环境后使水体环境的组成和性质发生直接或间接有害于人类的变化的物质就是水环境污染物,简称水污染物。

水体污染(简称水污染)是指污染物进入河流、湖泊、海洋或地下水等水体后,使水体的水质和水体底泥的物理、化学性质或生物群落组成发生变化,从而使水体降低甚至丧失其原有的使用价值和使用功能的现象。

天然水体受到污染的首要特征是水污染物含量水平超出天然水体的一般水平或有关规定的标准,另一特征便是水体原先所具有的使用价值和功能受到影响。水体受到污染后,轻则使用价值降低,例如原先可以直接饮用的天然水,受到污染后无法再直接饮用,只能用于农业灌溉或水产养殖等;当水体污染极为严重时,其使用价值和使用功能就有可能完全丧失。

2. 产生水体污染的原因

水环境污染的根源在于人类的生产、生活活动。人类从自然环境中获取水资源并加以利用,这部分进入社会循环的水经过生产或生活使用之后,数量上有所消耗,其水质也因夹带多种物质而发生明显的变化。例如,生活用水的人均使用量为 $50\sim 300\text{L/d}$,其中直接饮用或食用以满足生理需求的消耗量仅占 5L/d 左右,其余大部分的水主要用于洗涤、冲厕等卫生目的,使用后会携带多种污染物。同样,工业生产用水除部分作为生产原料消耗之外,主要用于冷却、生产介质或其他目的,其废弃外排水随工业种类、用水性质及方式的不同而有不同程度的污染。此外,农业生产的化肥、农药使用量不断增加所导致的土壤残留问题,也会使大量化学物质随农灌退水或降雨形成的农田径流进入地表或地下水环境。水的社会循环过程产生的各种废水进入天然水体,并使天然水体的水质变化超出环境的允许限度时,就造成了水体环境不同程度的污染。

3. 水污染的类型

根据应用场合及划分依据的不同,水污染可有多种类型。按照水体的类型不同,可将水污染划分为河流污染、湖泊污染、海洋污染和地下水污染等。按水体污染物的不同种类,又可将水污染划分为需氧物质污染、有毒化学物质污染、植物营养物质污染、放射性污染、石油污染、热污染、病原体污染等。其中,需氧物质污染又称需氧型污染,有毒化学物质污染又称毒物型污染,植物营养物质污染又称富营养型污染。此外,因污染物在水体中产生令人感到不快的颜色、臭味、泡沫、浑浊等现象时,称之为感官型污染。

四、地球水资源所面临的问题

地球水资源所面临的问题首先来自人口增长的压力。20 世纪初世界总人口约 16 亿,到 20 世纪 50 年代以 0.8% 的平均增长率达到了 25 亿。1990 年,全球人口达到 50 亿,此间的增长速度为 2.06%。目前,世界总人口已突破 60 亿,预计到 2100 年的世界总人口将超过 100 亿。在地球水资源总量处于动态的相对稳定平衡的条件下,全球人口总数的增加势必会导致人均水资源拥有量的降低。此外,为了解决未来 100 亿以上人口最基本的吃饭穿衣问题,势必要增加耕地及灌溉面积。农业灌溉用水本身已经占居世界总用水量的 73% 左右,相应于耕地面积增加的农业灌溉用水量,亦会对地球的水资源产生不容忽视的压力。

其次,随着全球经济的快速发展,各国的工业生产用水量普遍大幅度增长。经济发达的欧美国家可以凭借自身的经济实力,采取技术措施,通过扩大水的循环使用量,减慢工业用水总量的增长速度,提高工业用水的效益。但对大多数迫切需要尽快发展本国经济的第三世界国家而言,在其积极扩大工业生产的过程中,由于受到技术及经济条件的限制,对节水的重要性、迫切性的认识以及对节水技术研究的投入普遍不足,造成水的浪费和用水效益的低下,从而也增加了水资源的耗用量。

人口增加和工业化发展除增加水资源的耗用量外,还带来水环境的污染。水资源因受到人的生产、生活活动污染而降低或丧失使用价值时,会使原本就珍贵的水资源更加短缺,导致水资源危机的加重。而水资源的危机反过来又会对人类自身的生存产生严重的不利影响。

地球水资源所面临的问题还包括因全球性气候变化造成的水资源平衡失调。地球水资源最根本的源头来自大陆降水的补给。近 30 年来,全球气候变化异常,自然灾害亦频繁发生,影响了一系列的生态环境变化,其中之一就是水分收支的变化。有关研究结果表明,气候变化导致降水趋于极端化,如高纬度地区气候变得干热、沙漠化扩大,或冰川雪线的进一步退缩,而在另一些区域却经常遭受暴雨洪水的侵袭。降水分布的极端化,会使水资源分布失去稳定性,使得贫水地区更为贫水、富水地区水患成灾等。凡此种种,都会导致水资源危机更为严重。

第二节 水体污染防治

一、水体污染防治的基本途径

水环境污染是当今社会许多国家面临的首要环境问题。水环境保护的目的是保护水体不受到污染,以使各类水体能够发挥其原有的资源效能。例如,保护好水源地的水质,可以保障饮水安全和人体健康;通过综合治理使各类水体的使用功能得到保护或恢复,以满足人类社会对水资源多种用途的需求等。

水环境保护涉及多方面的问题,必须采取行政管理、法律约束、经济制裁及工程治理技术等多种手段和措施,最大限度地合理利用水资源,减少水污染物的产生和排放,用较为经济的方法获取水体污染综合防治的最佳效果。

水环境保护的基本途径可分为两个方面:一是从改善生态环境着手,通过提高绿化覆

盖率，增加涵养林及草场面积等，使水体的环境容量和抵御污染能力得到有效的提高；另一方面是实行污染物排放总量控制制度，使水污染物的排放总量控制在水体能够承受的限度之内。

水体污染物排放总量的控制途径分工艺控制、排放口控制两大类。其中，工艺控制又称摇篮控制，属于目前在环保领域积极推广的清洁生产的范畴，主要控制对象为工业生产废水。它是通过生产工艺技术的改造与革新，在生产的全过程中减少甚至消除污染因子。例如，采用无磷易降解环保工艺配方生产合成洗涤剂，可以在一定程度上减慢水体的富营养化进程；提高生产过程水或液体介质的循环使用率，有利于污染物的回收利用；以无氰电镀工艺替代传统有氰化物配置的电镀工艺，可从根本上解决电镀生产的含氰废水污染问题。工艺控制基本可以从根本上消除产品生产过程中污染物的产生源因子，是污染物排放量最为彻底有效的控制途径。但这种控制途径受生产工艺技术和经济水平发展阶段的限制，目前在世界范围内还无法全部依靠工艺控制来解决所有的工业废水污染问题。

对工业废水及生活污水的净化处理是预防自然水体污染的关键技术措施。通过净化处理，将生产废水、生活污水在进入市政管网或受纳水体之前的排放口处的水质，控制在国家规定的标准或水环境容量允许的限度之内，是实施水体污染物排放总量控制制度的重点。通常将控制废水水质、减少水污染物排放量、防止废水对水环境造成污染的系列技术措施称做水污染控制。

二、水污染控制的核心与目的

水污染控制的核心是水质控制。所谓水质控制是指对水质的加工处理或调节控制，使不宜再用或排放的废水转变为可进行再用或排放的水的过程。

水质控制目的则是通过净化处理，实现废水的无害化、资源化，预防人类活动对水环境的负面影响作用，建立人与自然环境间相互协调的关系，最终实现自身的可持续发展。

广义的水质控制既包括从天然水源取水，为提供生产、生活用水而进行的给水处理，也包括为了安全排放的目的，对使用过后废弃外排的水所进行的排水处理。两者共同构成了人类用水的良性社会循环的基础。水的良性社会循环与自然水体间的关系见图 1-2 所示。

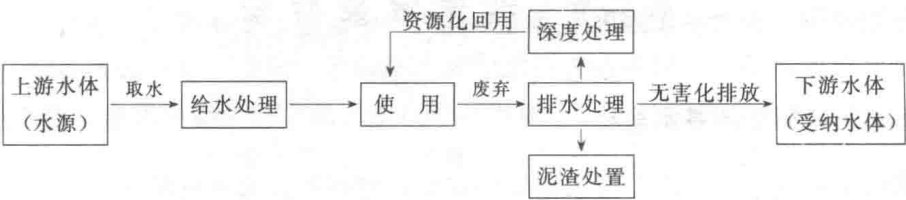


图 1-2 水的良性社会循环示意图

三、水污染控制工程在水污染防治中的作用

在水质控制的具体过程中，针对废水所含污染物的种类、性质和浓度范围，相应采取某种有效的净化处理技术及配套设施设备，通过治理工程措施的实施，使水污染物从废水中得到必要程度的分离，并使净化出水的水质满足安全排放或资源化回用的要求，称为水