

污水治理技术与运行管理

SEWAGE TREATMENT TECHNOLOGY AND OPERATION MANAGEMENT

王仲旭 毛应淮 主编

中国环境出版社

应用技术大学系列教材

污水处理技术与运行管理

主 编 王仲旭 毛应淮

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

污水处理技术与运行管理/王仲旭, 毛应淮主编.
—北京: 中国环境出版社, 2015.1
应用技术大学系列教材
ISBN 978-7-5111-2182-0

I. ①污… II. ①王…②毛… III. ①污水处理—高等学校—教材 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 306954 号

出版人 王新程
责任编辑 黄晓燕 李兰兰
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (环评与监察图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 1 月第 1 版
印 次 2015 年 1 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 24.5
字 数 420 千字
定 价 33.00 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

《污水处理技术与运行管理》

编写委员会

主 编 王仲旭 毛应淮

副主编 温 娟 楼 静 郑艳芬

编 委 郝英君 贾子利 罗 朝

前 言

当前我国水污染情况仍然非常严重。而且近几年国内重大环境污染事故频频发生，水污染事故占一半左右。为了减缓水环境污染，国家加大了对环境污染治理的力度。各种废水处理工程的不断建成和投运，需要配备许多掌握工艺技术和相关知识的工程技术人员和操作工，更需要污水处理人员学习新知识新技能。为了满足这些需求，编写了本书。

本书共分12章，第1章为污水处理概述；第2章至第8章主要讲述物理法、化学法、物化法、好氧法、厌氧法、污泥处理、脱氮除磷等工艺的特点、原理、常用设备、运行参数、运行管理要点以及典型案例；第9章介绍了典型行业的废水治理技术；第10章至第12章介绍了污水处理常用机械设备运行管理，废水的监控运行和排污口的规范化设置等内容。本书主要突出的是污水处理设施运行管理的内容，编写内容详尽且具有针对性。本书主要为开设环保类专业的各类高等院校作为教材使用，同时也可作为污水运行管理人员的培训教材。

参加本书编写的人员都是长期从事教学和科研工作的中国环境管理干部学院教师，并在教学之余为企业提供污水治理工程的设计和运行管理的技术服务，具备丰富的理论知识和实践经验。

各章编写人员：第1章：王仲旭、楼静、罗朝；第2章：楼静、贾子利、王仲旭；第3章：贾子利、郑艳芬、温娟；第4章：郝英君、郑艳芬、罗朝；第5章：王仲旭、楼静、毛应淮、郑艳芬、温娟、郝英君、贾子利、罗朝；第6章：温娟、郑艳芬、毛应淮、王仲旭；第7章：郑艳芬、郝英君、罗朝、王仲旭；第8章：温娟、郝英君、毛应淮、郑艳芬；第9章：贾子利、王仲旭、温娟、毛应淮；第10章：郝英君、贾子利、楼静；第11章：楼静、温娟、毛应淮；第12章：郑艳芬、罗朝、毛应淮。全书由王仲旭统编、定稿。

由于作者的水平所限，书中难免存在错误和不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

2015年1月

目 录

第 1 章 污水处理概述.....	1
1.1 污水的来源	1
1.2 污水水质指标	3
1.3 污水处理方法	6
第 2 章 物理处理及运行与管理.....	8
2.1 格栅	8
2.2 调节池	12
2.3 沉淀	13
2.4 隔油	27
2.5 澄清	35
2.6 气浮	38
2.7 过滤	42
第 3 章 化学处理及运行与管理.....	55
3.1 中和	55
3.2 混凝	59
3.3 电解	67
3.4 化学沉淀	69
3.5 氧化还原	72
3.6 消毒	77
第 4 章 物理化学处理及运行与管理.....	79
4.1 吸附	79
4.2 离子交换	84

4.3 萃取	88
4.4 膜分离	91
第5章 好氧生物处理及运行与管理	106
5.1 活性污泥系统运行与管理	106
5.2 生物膜系统运行与管理	165
第6章 厌氧生物处理及运行与管理	190
6.1 厌氧生物法概述	190
6.2 常见的厌氧反应器	195
6.3 厌氧生物处理工艺的常见问题及处理方法	236
第7章 污泥处理及运行与管理	238
7.1 污泥概述	238
7.2 污泥浓缩	241
7.3 污泥消化	248
7.4 污泥脱水	258
7.5 污泥的利用与处置	264
7.6 秦皇岛市绿港污泥处理厂案例	269
第8章 脱氮除磷工艺及运行与管理	272
8.1 污水中氮的去除	273
8.2 污水中磷的去除	292
8.3 生物脱氮除磷工艺	307
第9章 工业废水治理技术	318
9.1 概述	318
9.2 啤酒废水处理	320
9.3 造纸废水处理	323
9.4 制革废水处理	326
9.5 棉混纺织废水处理	329

9.6 电镀废水处理	333
第 10 章 常用机械设备的维护与管理	339
10.1 通用机械设备的维护与管理	339
10.2 污水处理专用机械设备的运行管理与维护	356
第 11 章 排污口规范化设置	362
11.1 排污口规范化设置的特点	363
11.2 排污口规范化设置的原则	363
11.3 排污口规范化设置的步骤和内容	364
11.4 排污口规范化设置的方法和技术要求	365
第 12 章 污水监测分析	368
12.1 污染源污水监测点位的布设	368
12.2 污染源污水监测的采样	370
12.3 排污总量监测	373
12.4 监测项目与分析方法	375
参考文献	377

第 1 章 污水处理概述

随着国家经济的发展，环境污染问题已成为全国亿万群众所关注的焦点。为了治理污染、保护环境，国家把环境保护列为基本国策，制定了一系列的政策法规；同时加大力度投资建设污染防治设施，以提高污染治理率和排放达标率。国家“十二五”规划中提出：“要加快建设城镇生活污水、污泥、垃圾处理处置设施，同步建设和合理配套污水收集管网、垃圾收运设施。加强造纸、印染、化工、制革、规模化畜禽养殖等行业污染治理，继续推进重点流域和区域水污染防治，加强重点湖库及河流环境保护和生态治理，加大重点跨界河流环境管理和污染防治力度，加强地下水污染防治。提高城镇生活污水和垃圾处理能力，城市污水处理率和生活垃圾无害化处理率分别达到 85%和 80%”。

但是，由于经济、技术等多方面原因，在投产的污染防治设施中，有许多根本不能运行或不能正常运行，这样就导致污染源得不到有效控制。鉴于此，加强对现有污染防治设施运行情况的监管，提高环保从业人员对污染防治设施运行管理的水平，充分发挥污染防治设施防污治污作用已成为当务之急。

污水治理设施，是指我国境内一切排污单位和个人拥有的，为防治污水对环境的污染和破坏而建造的各种处理（处置）、净化、综合利用设施，以及与这些设施配套安装的计量装置、监控装置、监控网络系统和排污口等。

水污染防治设施主要包括：工业废水污染防治设施；污水综合利用，重复利用和闭路循环设施；医疗废水处理设施；饭店、宾馆污水处理设施；工业废水和生活污水集中处理设施以及配套的污泥处理处置设施等。

1.1 污水的来源

污水，通常指受一定污染的、来自生活和生产的排出水。污水的主要污染物有病原体污染物、耗氧污染物、植物营养物、有毒污染物等。

(1) 工业废水

工业废水指工业生产过程中排放出来的废水。按照与生产工艺的接触程度，工业废水可分为：

① 生产污水：直接参与生产工艺操作，污染物含量高，成分复杂，且性质多变。这类废水是主要污染源，需经过适当处理达标后方可排入水体或城市下水道。

② 生产废水：不直接参与生产工艺操作，如冷却水，受到轻微的污染。通常可以直接排放或经简单处理后即可循环使用。

不同来源的工业废水，其成分、水量均不相同。在治理时必须区别对待。

(2) 生活污水

生活污水是人们日常生活中排出的水，包括厨房洗涤、沐浴、洗衣等废水以及冲洗厕所等排水，其成分及其变化取决于居民生活状况、水平和习惯。污染物浓度与用水量有关。生活污水的主要污染物是有机物和氮、磷等营养物质，其水质特征是水质稳定但浑浊、色深且具有恶臭，呈微碱性，一般不含有毒物质，含有大量的细菌、病毒和寄生虫卵。

(3) 农业废水

随着农药、化肥的大量施用，农业废水也越来越受到人们的重视。农业废水中主要含一些农药、植物生长素（N、P）以及大量的致病菌、病毒等。农田径流排水已经成为天然水体的主要污染源之一。

(4) 降水

是指地面径流的雨水和融化的冰雪水。一般较清洁，不需处理可以直接排入水体，但流经炼油厂、化工厂、制革厂等地区的雨水中可能会含有这些厂的污染物，需经过适当处理后才能排放。

(5) 城市污水

城市污水是排入城市排水系统中各类废水的总称，泛指生活污水、工业废水以及其他排入城市排水管网的混合污水。正是由于城市污水是一种混合水，各个城市之间的城市污水的水质存在一定的差异，主要取决于工业废水所占比例，也受到城市规模、居民生活习惯、气候条件及下水道系统形式的影响。

污水净化后的出路：① 排放水体，作为水体的补给水；② 灌溉田地；③ 重复使用。

1.2 污水水质指标

污水水质指标一般分为物理性、化学性、生物性指标三大类。

1.2.1 物理性指标

污水的主要物理性质及指标有：水温、色度、嗅和味、固体含量。

(1) 水温

污水的水温，对污水的物理性质、化学性质及生物性质有直接影响，所以水温是污水水质的重要物理性质指标之一。许多工业排出的废水都有较高的温度，这些废水排入水体使其水温升高，引起水体热污染。水温升高影响水生生物的生存和对水资源的利用。氧气在水中的溶解度随水温的升高而减小，这样，一方面水中溶解氧减少，另一方面水温升高加速耗氧反应，最终导致水体缺氧或水质恶化。通常生物处理要控制水温在 5~35℃。

(2) 色度

色度是一项感官性指标。一般纯净的天然水是清澈透明的，即无色的。但带有金属化合物或有机化合物等有色污染物的污水呈各种颜色。将有色污水用蒸馏水稀释后与参比水样对比，一直稀释到两个水样色差一样，此时污水的稀释倍数即为其色度。

① 表色：悬浮固体形成的色度。

② 真色：胶体或溶解物质形成的色度。

水体色度加深，使透光性减弱，影响水生生物的光合作用，抑制其生长繁殖，妨碍水体的自净作用。

(3) 嗅和味

嗅和味同色度一样也是感官性指标，可定性反映某种污染物的多寡。天然水是无嗅无味的。当水体受到污染后会产生异样的气味。水的异臭来源于还原性硫和氮的化合物、挥发性有机物和氯气等污染物质。不同盐分会造成不同的异味，如氯化钠带咸味，硫酸镁带苦味，硫酸钙略带甜味等。生活污水的臭味主要由有机物腐败产生的气体造成。工业废水的臭味主要由挥发性化合物造成。

(4) 固体含量

① 总固体量：把定量水样在 105~110℃烘箱中烘干至恒重，所得的重量。按

存在形态的不同可分为：悬浮的、胶体的和溶解的；按性质的不同可分为：有机物、无机物与生物体悬浮固体（SS，又称悬浮物，把水样用滤纸过滤后，被滤纸截留的滤渣，在 105~110℃烘箱中烘干至恒重，所得重量即为悬浮固体重量）。

② 细分散悬浮固体：颗粒粒径在 0.1~1.0 μm；粗分散悬浮固体：颗粒粒径大于 1.0 μm。悬浮固体也由有机物和无机物组成，故又可分为挥发性悬浮固体（VSS）和非挥发性悬浮固体（NVSS）。

③ 可沉淀固体：悬浮固体中，有一部分可在沉淀池中沉淀形成沉淀污泥，称为可沉淀固体。

1.2.2 化学性指标

（1）化学需氧量（COD）

指用强化学氧化剂（我国法定用重铬酸钾）在酸性条件下，将有机物氧化成 CO_2 与 H_2O 所消耗的氧量（mg/L），用 COD_{Cr} 表示，简称为 COD。化学需氧量越高，表示水中有机污染物越多，污染越严重。

（2）生化需氧量（BOD）

水中有机污染物被好氧微生物分解时所需的氧量称为生化需氧量（mg/L）。如果污水成分相对稳定，一般来说， $\text{COD} > \text{BOD}_5$ 。一般 BOD_5/COD 大于 0.3，认为适宜采用生化处理。

（3）总需氧量（TOD）

有机物主要元素是 C、H、O、N、S 等，当有机物被全部氧化时，将分别产生 CO_2 、 H_2O 、NO、 SO_2 等，此时需氧量称为总需氧量。

（4）总有机碳（TOC）

包括水样中所有有机污染物质的含碳量，也是评价水样中有机物质的一个综合参数。

（5）氮及其化合物

污水中含氮化合物有 4 种：有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮与硝酸盐氮。4 种含氮化合物的总量称为总氮（TN）。

凯氏氮（KN）是有机氮与氨氮之和。凯氏氮指标可以用来判断污水在进行生物法处理时，氮营养是否充足的依据。生活污水中凯氏氮含量约 40 mg/L（其中有机氮约 15 mg/L，氨氮约 25 mg/L）。

(6) 总磷 (TP)

污水中含磷化合物可分为有机磷与无机磷两类。

(7) pH 值

pH 值等于氢离子浓度的负对数。

(8) 重金属

重金属指原子序数在 21~83 的金属或相对密度大于 4 的金属。汞、镉、铅、铬、砷以及它们的化合物称为“五毒”。

污水中含有的重金属难以净化去除。在污水处理过程中, 重金属离子浓度的 60% 左右被转移到污泥中。

(9) 硫酸盐与硫化物

污水中的硫酸盐用硫酸根 (SO_4^{2-}) 表示。

硫化物在污水中的存在形式有硫化氢 (H_2S)、硫氢化物 (HS^-) 与硫化物 (S^{2-})。

(10) 氯化物

生活污水中的氯化物主要来自人类排泄物, 工业废水以及沿海城市采用海水作为冷却水时, 都含有很高的氯化物。氯化物含量高时, 对管道及设备有腐蚀作用; 氯化钠浓度超过 4 000 mg/L 时, 对生物处理的微生物有抑制作用。

(11) 非重金属无机有毒物质

非重金属无机有毒物质主要是氰化物 (CN^-) 与砷 (As)。主要来自工业废水。

① 氰化物。氰化物是剧毒物质, 人体摄入致死量是 0.05~0.12 g。氰化物在污水中的存在形式是无机氰[如氢氰酸 (HCN), 氰酸盐 (CNO^-)]及有机氰化物[称为腈, 如丙烯酯 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{CN}$)]。

② 砷化物。砷化物在污水中的存在形式是无机砷化物以及有机砷。对人体的毒性排序为有机砷>亚砷酸盐>砷酸盐。砷会在人体内积累, 属致癌物质(致皮肤癌)之一。

1.2.3 生物性指标

(1) 大肠菌群数

每升水样中所含有的大肠菌群的数目, 以个/L 计。

(2) 细菌总数

是大肠菌群数、病原菌、病毒及其他细菌数的总和, 以每毫升水样中的细菌菌落总数表示。

1.3 污水处理方法

众所周知,各种污水中含有各种有害物质,如果不加处理而任意排放,会污染环境,造成公害,必须加以妥善的控制和治理。污水处理的目的,就是利用各种方法将污水中所含的污染物质分离出来,或将其转化为无害物质,从而使污水得到净化。

污水处理的方法很多,大体可分为物理法、化学法、物理化学法和生物法。常用污水处理工艺见表 1-1。

表 1-1 常用污水处理工艺一览

	名称	去除对象	流程中的设置位置
物理法	格栅、筛网	较大的漂浮物及悬浮物	取水口前、泵前、水处理工艺的始端
	调节	调节水质、水量	格栅后、泵前、水处理工艺的始端
	沉淀	废水中可以自然沉降或经混凝后的可沉固体	一级处理主要工艺;二级处理的预处理;污泥浓缩;工业废水处理中的任意位置
	隔油	去除废水中的油脂	含油脂的石油、化工、肉类加工企业污水处理前端
	澄清	含 SS 较低废水中的悬浮物	常用于给水处理中
	气浮	难以自然沉淀和上浮的细微颗粒及比重接近于 1 的悬浮颗粒	混凝后的固液分离措施之一;生物处理后的固液分离;污泥浓缩
	过滤	降低水的浊度,去除悬浮和脱稳的胶体颗粒物(包括细菌、病毒,有机物等)	给水处理中常用于沉淀(澄清)后;低浊度原水可直接过滤
	离心分离	密度大于水的颗粒沉降,小于水的颗粒上浮	含较高浓度 SS 的工业废水处理中
化学法	中和	中和废水中的酸或碱	凡对 pH 有要求的处理工序前
	混凝	浊度、色度、气味、农药、有机物、磷等	作为预处理、中间处理、最终处理,一般设在固液分离单元前
	氧化还原	去除 COD、色度、气味和氰化物	工业废水处理中
	消毒	细菌、氨和其他还原性物质	常用于给水处理中;城市污水与医院污水处理
	化学沉淀	重金属离子、铬酸根、硫酸根、氯离子等	工业废水处理中

	名称	去除对象	流程中的设置位置
生物法	好氧处理	BOD、植物营养元素、可生物降解的有毒物质	废水二级处理的核心工艺；三级处理的主要工艺
	厌氧处理	有机物	高浓度有机废水处理；低浓度有机废水厌氧水解；污泥消化
	自然生物处理	悬浮物、有机物	二级、三级处理
物理化学法	离子交换	钙、镁等硬度离子；阴阳离子（软化）	工业废水处理
	膜分离	微粒、大分子物质、阴阳离子	工业废水处理
	吸附	色度、难生物降解有机物如 ABS、杂环化合物等	一般作为最终处理；深度处理
	萃取	易溶于有机溶剂的物质回收	工业废水处理

以上各种处理方法都有其各自的特点和适用条件。在实际废水处理中，它们往往需要配合使用，不能期望只用一种方法就能把所有的污染物质去除干净。这种由若干个处理方法合理组配而成的废水处理系统，通常称为废水处理流程。

按照不同的处理程度，废水处理系统可分为一级处理、二级处理、三级处理等。

① 一级处理只去除废水中较大的悬浮物质。物理法中的大部分是用于一级处理的。废水经一级处理后，一般仍达不到排放要求，尚需进行二级处理。从这个角度来说，一级处理只是预处理。

② 二级处理的主要任务是去除废水中呈溶解和胶体状态的有机物质。生物处理法是最常用的二级处理方法，比较经济有效。因此，二级处理也称生物处理或生物化学处理。通过二级处理，一般废水均能达到排放要求。

③ 三级处理又称高级处理或深度处理，当出水水质要求很高时，为了进一步去除废水中的磷、氮、病原微生物、矿物质和难以降解的有机物等，以便达到某些水体要求的水质标准或直接回用于工业，就需要在二级处理之后再进行三级处理。

对于某一种废水来说，究竟采用哪些处理方法，怎样的处理流程，需根据废水的水质和水量、回收价值、排放标准、处理方法的特点以及经济条件等，通过调查、分析和作出经济技术比较后才能确定。必要时，还要进行试验研究。

第 2 章 物理处理及运行与管理

物理法是利用物理作用来分离废水中呈悬浮状态的污染物质，在处理过程中不改变其化学性质。物理法包括筛选、沉淀、气浮、磁选、离心分离、蒸发浓缩、过滤等。

2.1 格栅

格栅是一种最简单的过滤设备，放置在构筑物之前或设在泵站前，一般情况斜置于废水流经的通道中，用于将污水中的大块污物拦截出来，否则这些大块污物将堵塞后续单元的机泵或工艺管线。格栅一般由互相平行的格栅条、格栅框、清渣耙三部分组成，格栅分类见表 2-1。

表 2-1 格栅分类

格栅分类特征	格栅名称	说明
格栅间距	粗格栅	栅条间隙 $>40\text{ mm}$
	中格栅	栅条间隙为 $10\sim 30\text{ mm}$
	细格栅	栅条间隙 $<10\text{ mm}$
清渣方式	人工清渣格栅	主要是粗格栅，与水平面的倾角为 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$
	机械清渣格栅	机械清渣，与水平面的倾角为 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$
栅耙的位置	前清渣式格栅	顺水流清渣
	后清渣式格栅	逆水流清渣
构造特点	抓扒式格栅	栅条格栅，垂直或倾斜安装
	弧式格栅	栅条格栅水面为曲面
	回转式格栅	“栅条”由数排循环运动的钩齿组成，倾斜安装
	转鼓式格栅	“栅条”由数排转动的环片组成，倾斜安装
	阶梯式格栅	“栅条”由数排格子状循环运动的薄金属片组成

栅条的断面形状有方形、圆形、矩形等几种,其中矩形栅条因其刚度好、不易变形,而常被采用。栅条间距大小将直接影响格栅的截污效果。栅距的选择可根据废水中悬浮物和漂浮物的大小和组成等实际情况而定。运行人员可在实际运行管理中,根据所测数据及管理经验摸索出适合本单位废水处理的栅距。

在废水处理工艺流程中,格栅一般按照先粗后细的原则进行设置。粗格栅一般设置在泵站集水池中(提升泵前),而后在沉砂池前设置细格栅。泵前格栅的栅条间距以稍小于水泵的叶轮间隙为宜。

格栅的运行管理主要包括以下几个方面:

(1) 过栅流速的控制

污水在栅前渠道内的流速一般控制在 $0.4\sim 0.8\text{ m/s}$, 经过格栅的流速一般控制在 $0.6\sim 1.0\text{ m/s}$ 。过栅流速太大, 将把本应拦截下来的软性栅渣冲走; 过栅流速太小, 污水中粒径较大的砂粒将有可能在栅前渠道内沉积。污水过栅水头损失与过栅流速有关, 一般在 $0.08\sim 0.15\text{ m}$ 。如果过栅水头损失即格栅前后水位差增大, 说明污水过栅流速增大。此时, 有可能是过栅水量增加, 更有可能是格栅局部被堵死。如过栅水头损失减小, 说明过栅流速降低, 此时要注意砂在栅前渠道内的沉积。过栅流速具体控制在多少, 应视处理厂来水中污物的组成、含砂量以及格栅间距等具体情况而定。运行人员应在运转实践中摸索出本厂的过栅流速控制范围。利用投入工作的格栅台数控制过栅流速。

过栅流速的控制:

$$\text{栅前流速: } v_1 = \frac{Q_{\max}}{BH_1}, \text{ 过栅流速: } v_2 = \frac{Q_{\max}}{\delta(n+1) \cdot H_2}$$

式中: B —— 栅前渠道宽度;

δ —— 栅距/栅条间隙;

n —— 栅条数量;

$Q_{\max}$ —— 入流污水流量;

H_1 —— 栅前水深;

H_2 —— 格栅工作水深。

具体情况可通过调整过栅流量、投入工作格栅台数等调节, 流速范围根据具体污水情况确定。

(2) 栅渣的清除

格栅上的拦截物称为栅渣。及时清除栅渣, 也是保证过栅流速在合理范围内