



实用 环境工程手册

污水处理设备

史惠祥	主 编	
杨万东	杨岳平	副主编
汪大翠	主 审	



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

实用环境工程手册

污 水 处 理 设 备

史惠祥	主 编
杨万东 杨岳平	副主编
汪大犖	主 审

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

污水处理设备/史惠祥主编. —北京: 化学工业出版社,
2002.10
(实用环境工程手册)
ISBN 7-5025-3953-0

I. 污… II. 史… III. 污水处理设备 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 051051 号

实用环境工程手册

污 水 处 理 设 备

史惠祥 主 编

杨万东 杨岳平 副主编

汪大猷 主 审

责任编辑: 管德存 陈 丽

责任校对: 李 林

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 30½ 字数 770 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3953-0 /X·210

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书为《实用环境工程手册》套书的一个分册。全书共分5章。第1章简要介绍了废水中的主要污染物及其处理方法；第2章详细介绍了污水处理的通用设备，包括泵、风机、管材及配件等；第3章对污水处理的专用设备进行了具体介绍，包括各种专业设备的外形、主要技术参数、安装尺寸及适用范围等；第4章介绍了污水处理监控设备；第5章介绍了污水处理设备的选择、运行及维护。

本书可供水处理工程设计、科研及工程技术人员参阅。

前 言

水处理工程是改善水环境质量、提高供水水质的重要工程措施,水处理设备又是水处理工程的重要组成部分。与发达国家相比,目前我国水处理工程的主要差距是在水处理设备上。为了提高水处理工程的质量,目前我国每年仍花费大量的外汇进口水处理设备,与进口设备相比,国产水处理设备主要在标准化、成套化、大型化及自控化等方面有很大差距,因此如何提高我国水处理设备的标准化、成套化、大型化及自控化水平是提高水处理工程质量的重要举措。

本书一方面可供水处理工程设计人员设备选型作参考,另一方面也可作为总结目前我国水处理设备的现状、找出存在问题提供基础资料。尽管编写者们均为一线工程技术人员,但要编好这部书难度较大,终因编写者业务范围、技术水平等因素局限,缺点甚至错误在所难免,希望广大读者不吝指正,使本书在使用过程中不断得到完善、提高。

本书内容涉及水处理设备的多个方面,全书分五章:第1章为水处理的方法与原理,第2章为污水处理通用设备,第3章为污水处理专用设备,第4章为污水处理监控设备,第5章为污水处理设备的选择、运行及维护。

全书由史惠祥主编,杨万东、杨岳平任副主编,汪大群主审,编写人员有胡小鹏(第3章3.1.4、3.2.1、3.2.2)、俞小明(第3章3.1.1~3.1.3)、鲁奕良(第3章3.1.5~3.1.7)、俞建兵(第3章3.1.10~3.1.12)、郑展志(第3章3.1.13~3.1.15)、王锋雷(第4章4.1)。另外,在编写过程中得到了浙江大学达康环境工程有限公司(原浙江大学环境工程公司)的大力支持,在此谨表谢意!

编 者

目 录

第1章 废水处理基础	1	2.3.3 非金属管材及配件	145
1.1 污染物	1	2.3.4 阀门	156
1.1.1 固体污染物	1	第3章 污水处理专用设备	181
1.1.2 耗氧有机物	1	3.1 物化处理专用设备	181
1.1.3 富营养化污染	3	3.1.1 格栅	181
1.1.4 无机无毒物质(酸、碱、盐污 染物)	3	3.1.2 加药设备	192
1.1.5 有毒污染物	3	3.1.3 搅拌设备	195
1.1.6 油类污染物	4	3.1.4 气浮设备	204
1.1.7 生物污染物质	4	3.1.5 撇油、撇渣设备	224
1.1.8 感官性状污染物	4	3.1.6 过滤设备	229
1.1.9 热污染	4	3.1.7 排泥设备	237
1.2 废水处理方法概述	4	3.1.8 电解设备	247
1.2.1 废水处理方法分类	5	3.1.9 消毒设备	254
1.2.2 废水处理程度分级	5	3.1.10 吸附设备	263
1.2.3 物理处理法	7	3.1.11 离子交换设备及离子交换剂	282
1.2.4 化学处理法	9	3.1.12 除砂设备	322
1.2.5 物化处理法	12	3.1.13 污泥浓缩设备	332
1.2.6 生化处理法	15	3.1.14 污泥脱水设备	336
第2章 污水处理通用设备	20	3.1.15 焚烧炉	358
2.1 泵	20	3.2 生化设备	362
2.1.1 泵的分类	20	3.2.1 曝气装置与设备	362
2.1.2 泵的特点及适用范围	20	3.2.2 生物填料	395
2.1.3 泵的选型与计算	21	3.3 一体化处理设备	402
2.1.4 IS单级单吸离心清水泵	26	3.3.1 给水一体化处理设备	402
2.1.5 QW、WL型潜水排污泵	30	3.3.2 生活污水一体化处理设备	404
2.1.6 QZ型潜水混流泵	57	3.3.3 电镀废水一体化处理设备	408
2.1.7 离心耐蚀泵	74	第4章 污水处理监控设备	413
2.1.8 计量泵	82	4.1 常规污水水质指标的监测设备	413
2.1.9 螺杆泵	88	4.1.1 pH值监测设备	413
2.2 风机	94	4.1.2 DO值监测设备	417
2.2.1 离心通风机	94	4.1.3 COD监测设备	422
2.2.2 离心鼓风机	103	4.1.4 BOD ₅ 监测设备	427
2.2.3 罗茨式鼓风机	108	4.1.5 色度监测设备	431
2.2.4 空压机	120	4.1.6 SS监测设备	443
2.3 管材与配件	124	4.1.7 NH ₃ -N监测设备	444
2.3.1 金属管材与配件	124	4.2 流量调节控制系统	452
2.3.2 金属管件	142	4.2.1 控制原理	452
		4.2.2 主要设备	452

4.3 污水厂集散式控制系统	455	5.2.1 通用设备的安装	467
4.3.1 概述	455	5.2.2 专用设备的安装	469
4.3.2 污水厂集散式控制系统的构成 ...	456	5.2.3 设备的安装及注意事项	471
4.3.3 污水厂集散式自控系统的主要 设备	457	5.3 污水处理设备的运行维护	473
第5章 污水处理设备的选择、运行及 维护	460	5.3.1 通用设备的调整和试运转	473
5.1 污水处理设备的选择	460	5.3.2 专用设备的调整和试运转	474
5.1.1 通用设备的选择	460	5.3.3 设备运行维护及注意事项	474
5.1.2 专用设备的选择	465	5.4 典型污水处理工程所用设备实例	475
5.1.3 设备的选择及注意事项	466	5.4.1 化工废水处理主要设备	475
5.2 污水处理设备的安装	467	5.4.2 印染废水处理主要设备	476
		5.4.3 造纸废水处理主要设备	477
		5.4.4 制革废水处理主要设备	478

第 1 章 废水处理基础

1.1 污 染 物

废水中的污染物种类大致可分为：固体污染物、需氧污染物、营养性污染物、酸碱污染物、有毒污染物、油类污染物、生物污染物、感官性污染物、热污染等。水体中的污染物大致分类见表 1-1。

表 1-1 水体中的污染物

分 类	主要 污 染 物
无机有害物	水溶性氯化物，硫酸盐等无机酸、碱、盐中无毒物质，硫化物
无机有毒物	铝、汞、砷、镉、铬、氟化物、氰化物等重金属元素及无机有毒化学物质
耗氧有机物	碳水化合物、蛋白质、油脂、氨基酸等
植物营养物	铵盐、磷酸盐和磷、钾等
有机有毒物	酚类、有机磷农药、有机氯农药、多环芳烃、苯等
病原微生物	病菌、病毒、寄生虫等
放射性污染	铀、镭、铯等
热污染	含热废水

为了表征废水水质，规定了许多水质指标。主要有有毒物质、有机物质、悬浮物、细菌总数、pH 值、色度、温度等。一种水质指标可以包括几种污染物；而一种污染物又可以属于几种水质指标。

1.1.1 固体污染物

固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。

悬浮物是一项重要的水质指标，它的存在不但使水质浑浊，而且使管道及设备堵塞、磨损。由于大多数废水中都有悬浮物，因此去除水中的悬浮物是废水处理的一项基本任务。

浊度是对水的光传导性能的一种测量，用以表征废水中胶体和悬浮物的含量。主要是水体中含有的泥沙、有机质胶体、微生物以及无机物的悬浮物和胶体物。混浊降低水的透明度，影响感官甚至水生生物的生活。

固体污染物在水中以三种状态存在：溶解态（直径小于 1nm）、胶体态（直径介于 1~200nm）和悬浮态（直径大于 100nm）。水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜（孔径约 3~10 μ m）的叫溶解固体（DS）；不能透过的叫悬浮固体或悬浮物（SS），两者合称为总固体（TS）。在废水处理中悬浮物（SS）是一个比较重要的指标。

1.1.2 耗氧有机物

绝大多数的耗氧污染物（需氧污染物）是有机物，无机物主要是还原态的物质，如 Fe、Fe²⁺、S²⁻、CN⁻等，因而在一般情况下，耗氧污染物是指需氧有机物或耗氧有机物。天然水中的有机物一般是水中生物生命活动的产物。人类排放的生活污水和大部分生产废水中含有大量的有机物质，其中主要是耗氧有机物如碳水化合物、蛋白质、脂肪等。

耗氧有机物种类繁多，组成复杂，因而难以分别对其进行定量、定性分析。没有特殊要

求，一般不对它们进行单项定量测定，而是利用其共性，间接地反映其总量或分类含量。在工程实际中，采用以下几个综合水质指标来描述。

(1) 化学需氧量 (COD)

化学需氧量是指在酸性条件下，用强的化学氧化剂将有机物氧化成 CO_2 、 H_2O 所消耗的氧量。以每升水消耗氧的毫克数表示 (mg/L)。COD 值越高，表示水中有机污染物的污染越严重。目前常用的氧化剂主要是重铬酸钾和高锰酸钾。由于重铬酸钾氧化作用很强，所以能够较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原性物质（但不包括硝化所需的氧量），此时化学需氧量用 COD_{Cr} 表示，主要适用于分析污染严重的水样，如生活污水和工业废水。如采用高锰酸钾作为氧化剂，则写作 COD_{Mn} 。适用于测定一般地表水，如海水，湖泊水等。目前，根据国际标准化组织 (ISO) 规定，化学需氧量指 COD_{Cr} ，而称 COD_{Mn} 为高锰酸钾指数。

与 BOD_5 相比， COD_{Cr} 能够在较短时间内（规定为 2h）较为精确地测出废水之中耗氧物质的含量，不受水质限制。缺点是不能表示可被微生物氧化的有机物量，此外废水中的还原性无机物质也能消耗部分氧，会造成一定的误差。

(2) 生化需氧量 (BOD)

在有氧条件下，由于微生物的活动，降解有机物所需的氧量，称为生化需氧量，以每升水消耗氧的毫克数 (mg/L)。生化需氧量越高，表示水中耗氧有机物污染越严重。

废水中有机物的分解，一般可以分为两个阶段。第一阶段称碳化阶段，是有机物中碳氧化为二氧化碳，有机物中的氮氧化为氨的过程。碳化阶段消耗的氧量称为碳化需氧量，用 L_a 或 BOD_a 表示，其值等于 O_a 和 O_b 之和。第二阶段称为氮化阶段或硝化阶段，氨在硝化细菌作用下，被氧化为亚硝酸根和硝酸根。硝化阶段的耗氧量称为硝化需氧量，用 L_N 或 BOD_N 表示，其值等于 O_c 和 O_d 之和。

有机物耗氧过程与温度、时间有关。在一定范围内温度越高，微生物活力越强，消耗有机物就越快，需氧越多；时间越长，微生物降解有机物的数量和深度越大，需氧量越多。在实际测定生化需氧量时，温度规定为 20°C 。此时，一般有机物需 20 天左右才能基本完成第一阶段的氧化分解过程，其需氧量用 BOD_{20} 表示，它可视为完全生化需氧量 L_a 。在实际测定时，20 天时间太长，目前国内外普遍采用在 20°C 条件下培养 5 天的生物化学过程需要氧的量为指标，称作为 BOD_5 ，简称 BOD。 BOD_5 只能相对反映出氧化有机物的数量，各种废水的水质差别很大，其 BOD_{20} 与 BOD_5 相差悬殊，但对某一种废水而言，此值相对固定，如生活污水的 BOD_5 约为 BOD_{20} 的 0.7 左右。但是，它在一定程度上亦反映了有机物在一定条件下进行生物氧化的难易程度和时间进程，具有很大的使用价值。

如果废水中各种成分相对稳定，那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般来说， $\text{COD} > \text{BOD}_{20} > \text{BOD}_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。其中 BOD_5/COD 比值可作为废水是否适宜生化处理的一个衡量指标。比值越大，越容易被生化处理。一般认为 BOD_5/COD 大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

(3) 总需氧量 (TOD)

有机物主要元素是 C、H、O、N、S 等。在高温下燃烧后，将分别产生 CO_2 、 H_2O 、 NO_2 和 SO_2 ，所消耗的氧量称为总需氧量 TOD。TOD 的值一般大于 COD 的值。

(4) 总有机碳 (TOC)

总有机碳是近年来发展起来的一种水质快速测定方法，通过测定废水中的总有机碳量可

以表示有机物的含量。TOC 虽可以以总有机碳元素量来反映有机物总量，但因排除了其他元素，仍不能直接反映有机物的真正浓度。

1.1.3 富营养化污染

废水中所含 N 和 P 是植物和微生物的主要营养物质。废水排入受纳水体，使水中 N 和 P 的浓度分别超过 0.2 和 0.02mg/L 时，就会引起受纳水体的富营养化，促进各种水生生物（主要是藻类）的活性，刺激它们的异常繁殖，并大量消耗水中的溶解氧，从而导致鱼类等窒息和死亡。此外，水中大量的 NO_3^- 、 NO_2^- 若经食物链进入人体，将危害人体健康，或有致癌作用。

1.1.4 无机无毒物质（酸、碱、盐污染物）

无机无毒物质主要指排入水体中的酸、碱及一般的无机盐类。酸主要来源于矿山排水、工业废水及酸雨带来。碱性废水主要来自碱法造纸、化学纤维制造、制碱、制革等工业的废水。酸碱废水的水质标准中以 pH 值来反映其含量水平。酸性废水和碱性废水可相互中和产生各种盐类，酸性、碱性废水亦可与地表物质相互作用，生成无机盐类。所以，酸性或碱性污水造成的水体污染必然伴随着无机盐的污染。

酸性和碱性污水使水体的 pH 值发生变化，破坏了自然的缓冲能力，抑制了微生物的生长，妨碍了水体的自净，使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。酸性废水也对金属和混凝土材料造成腐蚀。同时，由于改变了水体的 pH 值，增加了水中的一般无机盐类和水的硬度等。

1.1.5 有毒污染物

废水中能对生物引起毒性反应的化学物质，称有毒污染物。工业上使用的有毒化学物已经超过 12000 种，而且每年以 500 种的速度递增。

毒物是重要的水质指标，各类水质标准对主要的毒物都规定了限值。废水中的毒物可分为三大类：无机有毒物质、有机有毒物质和放射性物质。

(1) 无机有毒物质

这类物质具有强烈的生物毒性，它们排入天然水体，常会影响水中生物，并可通过食物链危害人体健康，具有明显的累积性，使污染影响持久和扩大。无机有毒物质包括金属和非金属两类。金属有毒物主要为汞、铬、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、钛、钒、钼和铋等，特别是前几种危害更大。如汞进入人体后被转化为甲基汞，有很好的溶脂性，易进入生物组织，有很高的蓄积作用，在脑组织内积累，破坏神经功能，无法用药物治疗，严重时能造成死亡。镉进入人体后，主要贮存在肝、肾组织中，不易排出。镉的慢性中毒主要使肾脏吸收功能不全，降低机体的免疫能力，导致骨质疏松、软化，并引起全身疼痛、腰关节受损、骨节变形，有时还会引起心血管病等。

重要的非金属有毒物有砷、硒、氟、硫、氰、亚硝酸根等。如砷中毒时引起中枢神经紊乱、腹痛、肝痛、肝大等消化系统障碍。并常伴有皮肤癌、肝癌、肾癌、肺癌等发病率增高现象。无机氰化物的毒性表现为破坏血液，影响运送氧和氢的机能而导致死亡。亚硝酸盐在人体内还能与仲胺生成硝酸胺，具有强烈的致癌作用。

(2) 有机有毒物质

有机有毒物质的种类很多，大多是人工合成的有机物，难以被生物降解，大多是较强的三致物质（致癌、致突变、致畸），毒性很大。主要有：酚类化合物、有机农药（DDT、有机氯、有机磷、有机汞等）、聚氯联苯（PCB）、多环芳烃等。有机氯农药有很强的稳定性，在自然环境中的半衰期为十几年到几十年，水溶性低而脂溶性高，可以通过食物链在人体和

动物体内富集，对动物和人体造成危害。

(3) 放射性物质

放射性是指原子核衰变而释放射线的物质属性。主要包括 X 射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线及质子束等。天然的放射性同位素铀 238、镭 226、钍 232 等一般放射性都比较弱，对生物没有什么危害。人工的放射性同位素主要来自铀、镭等放射性金属的生产和使用过程，如核试验、核燃料再处理、原料冶炼厂等。其浓度一般较低，主要引起慢性辐射和后期效应，如诱发癌症，促成贫血、白血球增生、对孕妇和婴儿产生损伤，引起遗传性损害等。

1.1.6 油类污染物

油类污染物包括“石油类”和“动植物油”两项。沿海及河口石油的开发、油品运输、炼油工业废水的排放、内河水运以及生活废水的大量排放等，都会导致水体受到油污染。油类污染物能在水面上形成油膜，影响氧气进入水体，破坏了水体的复氧条件。它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表，影响养分的吸收和废物的排出。当水中含油 $0.01 \sim 0.1 \text{ mg/L}$ 时，对鱼类和水生生物就会产生影响。当水中含油 $0.3 \sim 0.5 \text{ mg/L}$ ，就会产生石油气味，不适合饮用。同时，油污染还破坏了海滩修养地、风景区的景观等。

1.1.7 生物污染物质

生物污染物质主要指废水中的致病性微生物，它包括致病细菌、病虫卵和病毒。生物污染物主要来自生活污水、医院污水和屠宰肉类加工、制革等工业废水。如生活污水中可能含有能引起肝炎、伤寒、霍乱、痢疾、脑炎的病毒和细菌以及蛔虫卵和钩虫卵等。生物污染物污染的特点是数量大、分布广、存活时间长，繁殖速度快。因此，必须予以高度重视。

1.1.8 感官性状污染物

废水中能引起异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象的物质，虽然不会产生严重的危害，但也引起人们感官上的极度不快，故称为感官性污染物。如印染废水污染往往使水体变成红色或其他染料颜色，炼油废水污染可使水体变黑等。对于供游览和文体活动的水体而言，感官性污染物的危害则较大。各类水质标准中，对色度、臭味、浊度、漂浮物等指标都作了相应的规定。

1.1.9 热污染

废水温度过高而引起的危害，称为热污染。热电厂等的冷却水是热污染的主要来源。这种废水直接排入天然水体，可引起水温升高，产生的主要危害主要有以下几点。

① 一方面，由于水温的升高，使水中的溶解氧减少，相应的亏氧量随之减少，大气中的氧向水中传递的速率减慢；另一方面，水温的升高会导致生物耗氧速度的加快，促使水体中的溶解氧进一步耗尽，使水质迅速恶化，造成鱼类和其他水生生物死亡。

② 由于水温的升高，加快藻类繁殖，从而加快水体的富营养化进程。

③ 由于水温的升高，导致水体中的化学反应加快，使水体中的物化性质如离子浓度、电导率、腐蚀性发生变化，可能导致对管道和容器的腐蚀。

④ 由于水温的升高，加速细菌生长繁殖，增加后续水处理的费用。如取该水体作为给水源，则需要增加混凝剂和氯的投加量，且使水中的有机氯含量增加。

1.2 废水处理方法概述

废水中的污染物质是多种多样的，所以往往不可能用一种处理单元就能够把所有的污染物质去除干净。一般一种废水往往需要通过由几种方法或几个处理单元组成的处理系统处理

后,才能够达到排放要求。采用哪些方法或哪几种方法联合使用需根据废水的水质和水量、排放标准、处理方法的特点、处理成本和回收经济价值等,通过调查、分析、比较后决定,必要时,要进行小试、中试等试验研究。

1.2.1 废水处理方法分类

针对不同污染物质的特征,发展了各种不同的废水处理方法,这些处理方法可按其作用原理划分为四大类:物理处理法、化学处理法、物理化学法和生物化学处理法。

(1) 物理处理法

主要通过物理作用,以分离、回收废水中不溶解的呈悬浮状态污染物质(包括油膜和油珠)的废水处理法。根据物理作用的不同,又可分为重力分离法、离心分离法和筛滤截流法等。重力分离法的处理单元有:沉淀、上浮(气浮、浮选)等,相应使用的处理设备是沉砂池、沉淀池、除油池、气浮池及其附属装置等。离心分离法本身就是一种处理单元,使用的处理装置有离心分离机和水旋分离器等,筛滤截流法包括截留和过滤两种处理单元,前者使用的处理设备是格栅、筛网,而后者使用的是砂滤池和微孔滤池等。

(2) 化学处理法

通过化学反应和传质作用来分离、去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物质或将其转化为无害物质的废水处理法。在化学处理法中,以投加药剂产生化学反应为基础的处理单元有:混凝、中和、氧化还原等;而以传质作用为基础的处理单元则有:萃取、汽提、吹脱、吸附、离子交换以及电渗析和反渗透等。后两种处理单元又统称为膜处理技术。其中运用传质作用的处理单元既具有化学作用,同时又具有与之相关的物理作用,所以也可以从化学处理法中分离出来,成为另一种处理方法,称为物理化学法,即运用物理和化学的综合作用使污水得到净化的方法。

(3) 物理化学法

利用物理化学的联合作用去除废水中的污染物质。主要有吸附法、离子交换法、膜分离法、萃取法、气提法和吹脱法等。

(4) 生物化学处理法

通过微生物的代谢作用,使废水中呈溶液、胶体以及微细悬浮状态的有机性污染物质转化为稳定、无害的物质的废水处理法。根据起作用的微生物不同,生物处理法又可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法。

1.2.2 废水处理程度分级

现代废水处理技术,按处理程度划分,可分为一级处理、二级处理和三级处理。

(1) 一级处理

去除废水中的漂浮物和部分悬浮状态的污染物质,调节废水 pH 值、减轻废水的腐化程度和后续处理工艺负荷的处理方法。

污水经一级处理后,一般达不到排放标准。所以一般以一级处理为预处理,以二级处理为主体,必要时再进行三级处理,即深度处理,使污水达到排放标准或回用水水质标准。一级处理的常用方法如下。

① 筛滤法 筛滤法是分离污水中呈悬浮状态污染物质的方法。常用设备是格栅和筛网。格栅主要用于截留污水中大于栅条间隙的漂浮物,一般布置在污水处理场或泵站的进口处,以防止管道、机械设备以及其他处理装置的堵塞。格栅的清渣,可常用人工或机械方法,有的是用磨碎机将栅渣磨碎后,再投入格栅下游,以解决栅渣的处置问题。筛网的网孔较小,

主要用以滤除废水中的纤维、纸浆等细小悬浮物，以保证后续处理单元的正常运行和处理效果。

② 沉淀法 沉淀法是通过重力沉降分离废水中呈悬浮状态污染物质的方法。沉淀法的主要构筑物有沉砂池和沉淀池，用于一级处理的沉淀池，通称初级沉淀池。其作用为：a. 去除污水中大部分可沉的悬浮固体；b. 作为化学或生物化学处理的预处理，以减轻后续处理工艺的负荷和提高处理效果。

③ 上浮法 上浮法用于去除污水中相对密度小于 1 的污染物，或通过投加药剂、加压溶气等措施去除相对密度稍大于 1 的污染物质。在一级处理工艺中，主要是用于去除污水中的油类及悬浮物质。

④ 预曝气法 预曝气法是在污水进入处理构筑物以前，先进行短时间（10~20min）的曝气。其作用为：a. 可产生自然絮凝或生物絮凝作用，使污水中的微小颗粒变大，以便沉淀分离；b. 氧化废水中的还原性物质；c. 吹脱污水中溶解性的挥发物；d. 增加污水中的溶解氧，减轻污水的腐化，提高污水的稳定度。

（2）二级处理

污水通过一级处理后，再进一步处理，用以除去污水中大量有机污染物，使污水进一步净化的工艺过程。相当长时间以来，主要把生物化学处理作为污水二级处理的主体工艺。近年来，采用化学或物理化学处理法作为二级处理主体工艺，并随着化学药剂品种的不断增多，处理设备和工艺的不断改进而得到推广。因此，二级处理原作为生化处理的同义词已失去意义。

污水经过筛滤、沉淀或上浮等一级处理之后，可以有效地去除部分悬浮物，生化需氧量（BOD）也可以去除 25%~40%，但一般不能去除污水中呈溶解状态的和呈胶体状态的有机物和氧化物、硫化物等有毒物质，不能达到污水排放标准。因此需要进行二级处理，二级处理的主要方法如下。

① 活性污泥法 废水生物化学处理中的主要处理方法。以污水中有机污染物作为底物，在有氧的条件下，对各种微生物群体进行混合连续培养，形成活性污泥。利用这种活性污泥在废水中的凝聚、吸附、氧化、分解和沉淀等作用过程，去除废水中有机污染物，从而使废水得到净化。活性污泥法从开创至今已经有 90 多年的历史，目前已成为有机工业废水和城市污水最有效的生物处理法，应用非常普遍。活性污泥法运行方式多种多样，如传统活性污泥法、阶段曝气法、生物吸附法、混合式曝气法、纯氧曝气法、深井曝气法，以及近几年所发展的氧化沟（延时曝气活性污泥法）。

② 生物膜法 生物膜法是使废水通过生长在固定支承物表面的生物膜，利用生物氧化作用和各相之间的物质交换，降解废水中有机污染物的方法。用这种方法处理废水的构筑物有生物滤池、生物转盘和生物接触氧化池以及最近发展起来的悬浮载体流化床，目前采用生物接触氧化池为多。

近年来，有的国家正在研究和采用化学或物理化学处理法作为二级处理主体工艺，预期这些方法将随着化学药剂品种的不断增多，处理设备和工艺的不断改进而得到推广。

污水二级处理可以去除污水中大量 BOD 和悬浮物，在较大程度上净化污水，对保护环境起到一定作用。但随着污水量的不断增加，水资源的日益紧张，需要获取更高质量的处理水，以供重复使用或补充水源。为此，有时需要在二级处理基础上，再进行污水三级处理。

（3）三级处理

污水三级处理又称污水深度处理或高级处理。为进一步去除二级处理未能去除的污染物，其中包括微生物未能降解的有机物或磷、氮等可溶性无机物。三级处理是深度处理的同义词，但二者又不完全一致。三级处理是经二级处理后，为了从废水中去除某种特定的污染物，如磷、氮等，而补充增加的一项或几项处理单元；至于深度处理则往往是以废水回收、复用为目的，在二级处理后所增设的处理单元或系统。三级处理耗资较大，管理也较复杂，但能充分利用水资源。

完善的三级处理由除磷、除氮、除有机物（主要是难以生物降解的有机物）、除病毒和病原菌、除悬浮物和除矿物质等单元过程组成。根据三级处理出水的具体去向，其处理流程和组成单元是不同的。如果为防止接纳水体富营养化，则采用除磷和除氮的三级处理；如果为保护下游引用水源或浴场不受污染，则应采用除磷、除氮、除毒物、除病菌和病原菌等三级处理，如直接作为城市饮用水以外的生活用水，如洗衣、清扫、冲洗厕所、喷洒街道和绿化地带等用水，其出水水质要求接近于饮用水标准。

1.2.3 物理处理法

在工业废水的处理中，物理法占有重要的地位。与其他方法相比，物理法具有设备简单、成本低、管理方便、效果稳定等优点。物理法一般用作其他处理方法的预处理或补充处理。

物理法包括过滤、重力分离、离心分离等。

1.2.3.1 重力分离

废水中含有的较多无机砂粒或固体颗粒，必须采用沉淀法除掉，以防止水泵或其他机械设备、管道受到磨损，并防止淤塞。沉淀池中沉降下来的固体，可用机械进行清除。

(1) 沉淀法的分类

沉淀法常用于除去悬浮固体，该方法是利用固体与水两者相对密度差异的原理，使固体和液体分离，是对废水预先进行净化处理的方法之一。在生化处理前，废水先要通过沉淀池进行沉淀，设在生化处理之前的沉淀池，称为初级沉淀池，或称为一次沉淀池。而在生化处理后的沉淀池，称为二次沉淀池，其目的是进一步去除残留的固体物质，包括生化处理后多余的活性污泥。

沉淀法又分为自然沉淀和混凝沉淀两种：自然沉淀是依靠废水中固体颗粒的自身重量进行沉降。此种仅对较大颗粒可以达到去除的目的，是属物理方法。

(2) 沉淀设备

生产上用来对污水进行沉淀处理的设备称为沉淀池，根据池内水流方向的不同，沉淀池的形式大致可以分为五种：即平流式沉淀池、竖流式沉淀池、辐射式沉淀池及斜管式沉淀池、斜板式沉淀池等。

1.2.3.2 离心分离

含悬浮物的废水在高速旋转时，由于悬浮颗粒和废水的质量不同，所受到的离心力大小不同，质量大的被甩到外圈，质量小的则留在内圈，通过不同的出口将它们分别引导出来，利用此原理就可分离废水中悬浮颗粒，使废水得到净化。

离心分离设备按离心力产生的方式不同可分为水力旋流器和高速离心机两种类型。水力旋流器（或称旋液分离器）有压力式和重力式两种，其设备固定，液体靠水泵压力或重力（进出水头差）由切线方向进入设备，造成旋转运动产生离心力。高速离心机依靠转鼓高速旋转，使液体产生离心力。压力式水力旋流器，可以将废水中所含的粒径 $5\mu\text{m}$ 以上的颗粒分离出去。进水的流速一般应在 $6\sim 10\text{m/s}$ ，进水管稍向下倾 $3^\circ\sim 5^\circ$ ，这样有利于水流向下

旋转运动。

压力水力旋转器体积小，单位容积的处理能力高，处理能力可达 $1000\text{m}^3/\text{m}^2$ 。而沉淀池的生产能力约为 $1\sim 2.5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。其构造简单，使用方便，并易于安装维护，分离效果与自然沉淀池相近。缺点是水泵和设备易磨损，所以设备费用高，耗电较多。

因为离心机的转速高，所以分离效率也高，但设备复杂，造价比较昂贵。一般只用在小批量的、有特殊要求的难处理废水。

1.2.3.3 过滤法

废水中含有的微粒物质和胶状物质，可以采用机械过滤的方法加以去除。有时过滤方法作为废水处理的预处理方法，用以防止水中的微粒物质及胶状物质破坏水泵，堵塞管道及阀门等。另外，过滤法也常用在废水的最终处理。

(1) 格栅过滤

格栅一般斜置在进水泵站集水井的进口处。它本身的水流阻力并不大，只有几厘米，阻力主要产生于筛余物堵塞栅条。一般当格栅的水头损失达到 $10\sim 15\text{cm}$ 时就该清洗。

格栅按形状可分为平面格栅和曲面格栅两种。按格栅栅条的间隙，可分为粗格栅 ($50\sim 100\text{mm}$)、中格栅 ($10\sim 40\text{mm}$)、细格栅 ($3\sim 10\text{mm}$) 三种。新设计的废水处理厂一般都采用粗、中两道格栅，甚至采用粗、中、细三道格栅。

(2) 筛网过滤

一些工业废水含有较细小悬浮颗粒，选择不同尺寸的筛网，能去除水中不同类型和大小的悬浮物，如纤维、纸浆、藻类等。相当于一个初沉池的作用。筛网过滤装置很多，有振动筛网、水力筛网、转鼓式筛网、转盘式筛网、微滤机等。

(3) 颗粒介质过滤

颗粒状介质过滤适用于去除废水中的微粒物质和胶状物质，常用作离子交换和活性炭处理前的预处理，也能用作废水的三级处理。

颗粒介质过滤器可以是圆形池或方形池。过滤器无盖的称为敞开式过滤器，一般废水自上流入，清水由下流出。有盖而且密闭的，称为压力过滤器，废水用泵加压送入，以增加压力。

过滤介质的粒度及材料，取决于所需滤出的微粒物粒子的大小、废水性质、过滤速度等因素。在废水处理中常用的滤料有石英砂、无烟煤粒、石榴石粒、磁铁矿粒、白云石粒、花岗岩粒以及聚苯乙烯发泡塑料球等，其中以石英砂使用最广。石英砂的机械强度大，相对密度约 2.65 左右，在 pH 值 $2.1\sim 6.5$ 的酸性废水环境中化学稳定性好，但废水呈碱性时，有溶出现象，此时一般常用大理石和石灰石。无烟煤的化学稳定性较石英砂好，在酸性、中性及碱性环境中都不溶出，但机械强度稍差，其相对密度因产地不同而有所不同，一般为 $1.4\sim 1.9$ 。大密度滤料常用于多层滤料滤池，其中石榴石和磁铁矿的相对密度大于 4.2，莫氏硬度大于 6。对含胶状物质废水则可用粗粒骨炭、焦炭、木炭、无烟煤等，在此情况下，过滤介质兼有吸附作用。

在废水的三级处理中，往往采用综合滤料过滤器，滤床采用不同的过滤介质，一般是以格栅或筛网及滤布等作为底层的介质，然后在其上再堆积颗粒介质。采用的一种混合滤料的组成是：无烟煤（相对密度 1.55）占 $55\%\sim 60\%$ ，硅砂（相对密度 2.6）占 $25\%\sim 30\%$ ，钛铁矿、石榴石（相对密度 4 以上）占 $10\%\sim 15\%$ 以上。滤床上层是相对密度较小的无烟煤颗粒，一般粒径为 2mm ；底层是相对密度较大的细粒材料，粒径为 0.25mm ；最下面是

砾石承托层。三种滤料之间适当的粒径和相对密度的配比是决定因素，两种较重的滤料中应包括严格控制的各种细粒径滤料，这样，在反冲洗后，滤床的每一水平断面都有各种滤料，形成混合滤料而无明显的交界面。混合滤料滤池接近理想滤池，沿水流方向有由粗至细的级配滤料和逐渐均匀减少的空隙，以提供最大截污能力，从而延长过滤周期，增加滤速，接受较大的进水负荷。这种滤池的滤速可达 $15 \sim 30 \text{ m/h}$ ，为普通滤池的 $3 \sim 6$ 倍。

(4) 微滤机过滤法

微滤机是一种机械过滤装置，其构造包括水平转鼓和金属滤网。转鼓和滤网安装在水池内，水池内还设有隔板。转鼓转动的圆周速度为 30 m/min ， $2/3$ 的转鼓浸在池水中。滤网为含钼的不锈钢丝织成，孔径有 60 、 35 、 $23 \mu\text{m}$ 等三种，亦有采用 $100 \mu\text{m}$ 孔径的金属丝网。

微滤机的工作原理是废水通过金属网细孔进行过滤。废水从转鼓的空心轴管，通过金属网孔过滤后流入水池。截留在网上的悬浮物随着转鼓转动到上面时，被冲洗水冲下，收集在转鼓内，随同冲洗水一起，从空心轴出口排出。微滤机的过滤及冲洗过程均为自动进行。

此法的优点为设备结构紧凑，处理废水量大，操作方便，占地较小。缺点是滤网的编织比较困难。

另外，还可以采用离心过滤机或板框过滤机等通用设备，近年来又有微孔管过滤机出现，微孔管代替金属丝网，起过滤作用，微孔管可由聚乙烯树脂或者用多孔陶瓷等制成。其特点是微孔孔径大小可以进行调节，微孔管调换比较方便，适用于过滤含无机盐类的废水。

1.2.4 化学处理法

化学法用来处理废水中的溶解物质或胶体物质，去除废水中的金属离子、细小的胶体有机物、无机物、植物营养素（氮、磷）、乳化油、色度、臭味、酸、碱等，对于废水的深度处理有着重要作用。

化学法包括中和法、混凝法、氧化还原、电化学等方法。

1.2.4.1 中和法

在化工、炼油企业中，对于低浓度的含酸、含碱废水，在无回收及综合利用价值时，往往采用中和的方法进行处理。中和法也常用于废水的预处理，调整废水的 pH 值。对含酸或含碱废水，含酸浓度在 4% 或含碱浓度为 2% 以下时，如果不能进行经济有效的回收、利用，则应经过中和，将废水的 pH 值调整到呈中性状态，才能够排放。而对含酸、含碱浓度高的废水，则必须考虑回收及开展综合利用的方法。

对酸性废水进行中和时，可采用以下一些方法：

- (1) 使酸性废水通过石灰石滤床；
- (2) 与石灰乳混合；
- (3) 向酸性废水中投加烧碱或纯碱溶液；
- (4) 与碱性废水混合，使废水 pH 值近于中性；
- (5) 向酸性废水中投加碱性废渣，如电石渣、碳酸钙、碱渣等。

通常，尽量选用碱性废水或废渣来中和酸性废水，以达到以废治废的目的。而烧碱或纯碱不仅价格很贵，而且又是重要的工业原料，故不应轻易选用。

对碱性废水，一般可以采用以下途径进行中和：

- (1) 向碱性废水中鼓入烟道废气；
- (2) 向碱性废水注入压缩二氧化碳气体；
- (3) 向碱性废水投入酸或酸性废水等。

用烟道气中和碱性废水，主要是利用烟道气中的 CO_2 和 SO_2 两种酸性气体对碱性废水进行中和。这是一种以废治废，开展综合利用的很好办法。既可以降低废水的 pH 值，又可以去除烟道气中的灰尘，并使烟道气中的 CO_2 及 SO_2 气体从烟气中分离出去，防止烟道气污染大气。存在的问题是废水经中和后，废水中硫化物、色度、耗氧量都有所增加，今后仍需加以研究解决。

1.2.4.2 混凝沉淀法

混凝法的基本原理是在废水中投入混凝剂，因混凝剂为电解质，在废水里形成胶团，与废水中的胶体物质发生电中和，形成絮粒沉降。混凝沉淀不但可以去除废水中粒径为 $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{mm}$ 的细小悬浮颗粒，而且还能够去除色度、油分、微生物、氮和磷等营养物质、重金属以及有机物等。

废水在未加混凝剂之前，水中的胶体和细小悬浮颗粒的本身质量很轻，受水的分子热运动的碰撞而作无规则的布朗运动。颗粒都带有同性电荷，它们之间的静电斥力阻止微粒间彼此接近而聚合成较大的颗粒；其次，带电荷的胶粒和反离子都能与周围的水分子发生水化作用，形成一层水化壳，阻碍各胶体的聚合。一种胶体的胶粒带电越多，其 ξ 电位就越大；扩散层中反离子越多，水化作用也越大，水化层也越厚，因此扩散层也越厚，稳定性越强。

废水中投入混凝剂后，胶体因 ξ 电位降低或消除，破坏了颗粒的稳定状态（称脱稳）。脱稳的颗粒相互聚集为较大颗粒的过程称为凝聚。未经脱稳的胶体也可形成大的颗粒，这种现象称为絮凝。不同的化学药剂能使胶体以不同的方式脱稳、凝聚或絮凝。按机理，混凝可分为压缩双电层、吸附电中和、吸附架桥、沉淀物网捕四种。

混凝剂的品种目前不下二三百种，按其化学成分可分为无机及有机两大类。无机盐主要是铝和铁的盐类及其水解聚合物，有机类品种很多，主要是高分子化合物，可分为天然的及人工合成的两部分。

无机混凝剂主要是利用其中的强水解基团水解形成的微絮体使颗粒脱稳，从 19 世纪末美国最先将硫酸铝用于给水处理并取得专利后，无机混凝剂以其价格低廉，原料易得等优点得以大量运用，目前无机混凝剂的主要品种见表 3-8。

有机混凝剂分为天然有机混凝剂与人工合成有机高分子混凝剂。天然有机混凝剂是人类使用较早的混凝剂，不过其用量远少于人工合成高分子混凝剂，其原因在于天然高分子混凝剂电荷密度较小，分子量较低，且易发生生物降解而失去絮凝活性，人工合成有机高分子絮凝剂的运用是近 30 年来的事，但在水和废水处理及污泥调理中的运用却越来越广泛。人工合成有机高分子絮凝剂都是水溶性聚合物，重复单元中常包含带电基团，因而也被称为聚电解质。包含带正电基团的为阳离子型聚电解质，包含带负电基团的为阴离子型聚电解质，既包含带正电基团又包含带负电基团的为两性型聚电解质，有些人工合成有机高分子絮凝剂在制备中并没有人为地引进带电基团，称为非离子型聚电解质。水及废水处理中，使用较多的是阳离子型、阴离子型和非离子型聚电解质。

为了提高混凝沉淀的效果，通常在使用混凝剂时还需加入一些助凝剂。助凝剂有如下三类。

(1) pH 调节剂

用于调整废水的 pH 值，以达到混凝剂使用的最佳 pH 值。常用的有石灰等。

(2) 活化剂

用来改善絮凝体的结构，增加混凝剂的活性，如活性炭、各种黏土及活化硅酸等，活化