

三废处理技术及工程应用丛书

废水处理技术及工程应用

李旭东 杨芸 等编著



机械工业出版社

水污染源控制是举世关注的问题，国内外都在研究各种高效低耗的应用新技术，此外，如何将获得的技术应用于工程是推广应用的关键。本书将从简单的废水处理基本技术入手，探索怎样应用这些技术处理废水并实现工程化，同时通过大量工程实例的介绍和新技术发展资料的介绍，使读者对废水处理作全面的了解。

本书广泛参考最新资料，特别注重实用性，可供环境工程、环境科学、给水排水、环境化学、环境微生物学、环境管理及其他与环境相关的学科的工程技术人员、研究人员、高等院校师生阅读和参考，也可供企业和管理部门环保人员培训使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

废水处理技术及工程应用 李旭东，杨芸等编著 北京：机械工业出版社，2002

(三废处理技术及工程应用丛书)

Ⅰ. 李... Ⅱ. 杨... Ⅲ. 废水处理 Ⅳ. X703

I 李旭东... Ⅱ 李旭东① 杨芸②... Ⅲ 废水处理 Ⅳ X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 12345 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号) 邮政编码 100037

责任编辑：杨少彤 版式设计：霍永明 责任校对：李汝庚

封面设计：鞠 杨 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

开本 787mm×1092mm 1/32 印张 4.5 字数 100 千字

ISBN 7-111-03456-2

定价：18.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68995199 邮购地址：北京

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着经济的发展，工业化进程加快，排入水体的废水污染负荷不断增加，水环境污染面临着空前的挑战。目前，国家对水污染治理的重中之重为解决重点污染行业废水和城市污水的污染治理，特别是高浓度、难降解的工业废水的有毒有害有机污染，城市污水的氮、磷污染等。我国近年对水污染治理的力度不断加大，投资逐年增加，如何应用好这些有限的经费，选择适宜的废水方案，最大限度的削减水污染负荷十分重要。为此，我们将多年从事废水处理技术的研究和工程化的实践，通过本书进行总结，希望与从事废水处理的同行进行交流，同时为新进入本领域的工程技术人员起到抛砖引玉的作用。

本书分为三篇，第一篇（第 1-3 章）介绍废水处理基本原理；第二篇（第 4-6 章）介绍废水处理主要技术及工程应用；第三篇（第 7-9 章）介绍典型废水处理 and 新技术研究进展。本书在编写过程中力求内容全面新颖、深入浅出、实用性强，按原理、方法、设计、应用、发展方向为主线编著，尽量使用图表，使读者一目了然。

本书第一章~第四章由杨芸撰写；第五章中第一、二节由黄钧撰写，第三节由李国欣撰写，第四节由姚春生撰写；第六章由谢翼飞撰写；第七章由李旭东、师春元、李国欣、姚春生、谢翼飞撰写；第八章由李旭东撰写；第九章由李旭东、谢翼飞撰写。全书由李旭东进行统稿，在编写过程中杨俊仕提出了一些宝贵意见。

本书目的为促进我国水污染技术工程应用尽一点绵薄之力，但因作者水平有限和时间仓促，书中难免有不妥或错误之处，敬请批评指正。

编 者

二〇〇八年 远月于成都

目 录

前言

第一篇 废水处理基本原理 员

第一章 废水的水质水量特性 员

第一节 废水来源与分类 员

第二节 废水水质分析 圆

第三节 废水的排放标准 缘

第四节 废水的水量及其变化规律 远

第二章 废水生物处理原理 愿

第一节 废水生物处理过程基本原理 愿

第二节 废水生物处理过程中主要
微生物种群 员

第三节 废水处理微生物的选育 员

第四节 污染物的生物降解过程 圆

第五节 生物处理过程环境条件的
影响因素 圆

第三章 废水物化处理原理 猿

第一节 废水的物理处理方法及基本
原理 猿

第二节 废水的化学处理方法及基本
原理 猿

第三节 废水的物理化学处理方法及
基本原理 猿

第四章 实际废水处理工程实施的主要 工作步骤 猿

第一节 废水水质水量确定 猿

第二节 废水实验室试验和研究 猿

第三节 废水处理工程方案设计 源

第四节 废水处理工程中试放大 源

第五节 废水处理工程初步设计 源

第六节 废水处理工程施工图设计 缘

第七节 废水处理工程施工 缘

第八节 废水处理工程调试运行 缘

第九节 废水处理设施的运行中异常问题
及解决对策 缘

第二篇 废水处理主要技术及 工程应用 远

第五章 废水生物处理 远

第一节 活性污泥法 远

第二节 生物滤池 猿

第三节 膜生物反应器 缘

第四节 人工湿地 员

第六章 废水物化处理 员

第一节 沉淀隔油 员

第二节 过滤 员

第三节 混凝 员

第四节 气浮 员

第五节 萃取 员

第六节 吸附 员

第七节 电化学技术 员

第八节 化学氧化还原 员

第九节 膜分离 员

第十节 应用实例 员

第三篇 典型废水处理和新技术 研究进展 员

第七章 典型废水的处理技术 员

第一节 石油废水处理 员

第二节 印染废水处理 员

第三节 制药废水处理 圆

第四节 造纸废水处理 圆

第五节 焦化废水处理 圆

第六节 制革废水处理 圆

第七节 农药废水处理 圆

第八节 养殖废水处理 圆

第九节 食品工业废水处理 圆

第八章 生物处理新技术 圆

第一节 生物处理工艺技术 圆

第二节 生物处理生物反应器 圆

第三节 环境生物制剂 圆

第四节 生物技术与其他技术融合的
新技术 圆

第九章 物化处理新技术	圆猿	水质标准	圆肆
第一节 高级氧化技术	圆猿	附录四 农用污泥质量标准	圆肆
第二节 磁分离技术	圆肆	附录五 生活污水水质	圆肆
第三节 超声波技术	圆伍	附录六 排水工程设计规范一览表	圆伍
附录	圆伍	附录七 给水排水工程施工和维护标准 一览表	圆陆
附录一 中华人民共和国国家标准污水 综合排放标准 (摘要)	圆伍	附录八 给水排水专用设备标准一览表 ...	圆陆
附录二 各种工业废水行业排放标准	圆伍	附录九 各种管线最小水平净距表	圆陆
附录三 再生水回用于景观水体的		附录十 地下管线交叉时最小垂直净距 ...	圆陆
		附录十一 消防距离	圆陆

第一篇 废水处理基本原理

第一章 废水的水质水量特性

第一节 废水来源与分类

废水根据来源，可分为生活污水和工业废水两大类。前者是人类生活活动过程中排出的废水；后者是人类工业生产活动过程中排出的废水。此外，由城镇排出的废水，叫做城市污水，其中既包括生活污水也包括工业废水，如图 1-1-1。

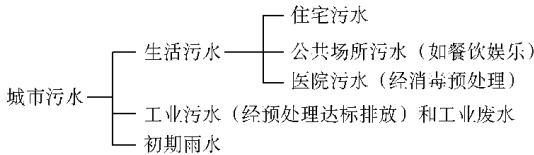


图 1-1-1 城市污水的来源

工业废水是在工业企业生产区一切生产生活废弃水的总称，主要来源如图 1-1-2。

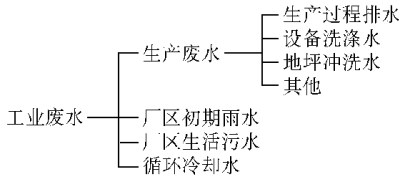


图 1-1-2 工业废水的来源

工业废水由于生产过程、原料和产品的不同，而具有不同的性质和成分，一种废水往往含有多种成分。根据废水的污染程度，工业废水可分为净废水和浊废水（或称生产污水）两类。净废水来自各种工业设备间接冷却用水，仅水温升高，污染轻微，可经某些简单处理后循环使用或排入水体；浊废水主要来自生产过程中与物料直接接触所排出的废水，污染程度较重，必须经过严格处理才能循环使用或排入水体。根据浊废水中所含成分，又可分为以下四类：

(1) 无机废水。废水中主要污染成分为无机物，来自采矿、冶金、煤炭和建筑材料等行业。

(2) 有机废水。废水中主要污染成分为有机物，来自造纸、酿造、食品加工、石油炼制和化工等行业。

(猿) 混合废水。废水中同时含有无机和有机污染物，来自炼焦、化肥、橡胶和制药等行业。

(源) 放射性废水。主要来自核电站以及生产或使用放射性物质的有关工业和部门。

生活污水来自城市、医院、工厂生活区和福利区，主要污染成分为生活废料和人的排泄物，一般不含有毒物质，但含有大量细菌和病原体。

第二节 废水水质分析

废水水质一般按物理、化学、生物性质进行分类，其污染指标如下：

一、物理性质及指标

表示废水物理性质的主要指标是水温、色度、臭味、固体含量及泡沫等。

水温：废水的水温对其物理、化学及生物性质有直接影响，并对处理有间接影响，水温过低（如低于 缘益）或过高（如高于 源益）会影响废水生物处理效果。

色度：色度可由悬浮固体、胶体或溶解物质形成，悬浮固体形成的色度称为表色；胶体或溶解物质形成的色度称为真色；水的颜色用色度作为指标。生活污水的颜色常呈灰色。但当污水中的溶解氧降低至零，污水所含有有机物腐烂，则水色转呈黑褐色并有臭味。生产废水的色度视工矿企业的性质而异，差别极大，如印染、造纸、农药、焦化、冶金及化工等的生产污水，都有各自的特殊颜色。故色度往往给人以感观不悦。

臭味：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。臭味大致有鱼腥臭 [胺类 悦匀晕匀]，(悦匀)晕匀]，氨臭 [氨 晕匀]，腐肉臭 [二元胺类 晕匀(悦匀)原晕匀]，腐蛋臭 [硫化氢 匀杂]，腐甘蓝臭 [有机硫化物 (悦匀)杂]，粪臭 [甲基吡啶 悦匀晕匀悦匀] 以及某些生产污水的特殊臭味。臭味给人以感观不悦，甚至会危及人体生理，呼吸困难，倒胃胸闷，呕吐等。故臭味也是物理性质的主要指标。

固体含量：固体物质按存在形态的不同可分为：悬浮态 (跃员越皂)、胶体态 (员~员越皂) 和溶解态 (约员皂) 三种；按性质的不同可分为：有机物、无机物与生物体三种；水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜 (孔径约 猿~ 员皂) 的叫溶解固体 (阅皂)，不能透过的叫悬浮固体或悬浮物 (杂皂)，两者合称为总固体 (裁皂)。固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。

二、废水的化学性质及指标

废水中的污染物质，按化学性质可分为无机物与有机物；按存在的形态可分为悬浮状态与溶解状态。

无机物及指标

无机物污染物包括酸碱污染物、营养性污染物、无机盐类及重金属离子等。

酸碱污染物：用氢离子浓度的负对数 裁匀值表示酸碱度，当 裁匀值超出 远- 怨的范围时，会对人、畜造成危害，酸性废水会对管渠、废水处理构筑物及设备产生腐蚀作用，同时也会对生物处理系统造成影响。

碱度指废水中含有的能与强酸产生中和反应的物质，亦即 匀垣离子的受体，主要包括三种：①氢氧化物碱度，即 韵匀离子含量；②碳酸盐碱度，即 悦匀离子含量；③重碳酸盐碱度，即 匀垣离子含量。废水的碱度可用下式表达：

[碱度] 越 [韵匀原] 垣 [愧猿原] 垣 [匀猿猿] 原 [匀垣]

(员原员)

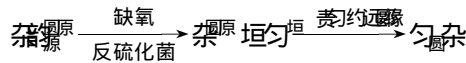
式中 [] —— 浓度, 单位为 皂早晕转蕴

废水所含碱度, 对于外加的酸、碱具有一定的缓冲作用, 可使废水的 粪匀值 维持在适宜于好氧菌或厌氧菌生长繁殖的范围内。例如污泥厌氧消化处理时, 要求碱度不低于 圆垣垣皂早晕转蕴 (以 粪匀计, 即约 源皂早晕转蕴), 以便缓冲有机物分解时产生的有机酸, 避免 粪匀值 降低。

营养性污染物: 氮、磷是植物和微生物的重要营养物质, 主要来源于人类排泄物及某些工业废水。水中氮和磷分别超过 园圆皂早晕转蕴 和 园圆皂早晕转蕴, 会导致湖泊、水库、海湾等缓流水体富营养化。含氮化合物有 源种: 有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮与硝酸盐氮, 其中有机氮与氨氮之和称凯氏氮 (运晕), 所有含氮化合物的总量称为总氮 (栽晕), 这几种含氮化合物的形态可相互转化; 含磷化合物可分为有机磷与无机磷两类, 有机磷的存在形式主要有: 葡萄糖酐 远磷酸, 圆磷酸 对油酸及磷肌酸等; 无机磷都以磷酸盐形式存在, 包括正磷酸盐 (孕猿原), 偏磷酸盐 (孕猿原), 磷酸氢盐 (匀猿猿原), 磷酸二氢盐 (匀猿猿原) 等, 一般生活污水中有机磷含量约为 猿皂早晕转蕴, 无机磷含量约 苑皂早晕转蕴 此外, 月韵阅 温度、维生素类物质也能促进和触发营养性污染。

还原性无机物: 废水中的亚硫酸盐与硫化物属还原性无机物, 会影响废水 愧阅 的值。生活污水的硫酸盐主要来源于人类排泄物; 工业废水如选矿、化工、制药、造纸和发酵等工业废水, 含有较高硫酸盐, 浓度可达 员猿皂早晕转蕴 硫化物主要来源于工业废水 (如硫化染料废水、人造纤维废水等) 和生活污水, 属于还原性物质, 要消耗污水中的溶解氧。

污水中的硫酸盐在缺氧的条件下, 由于硫酸盐还原菌、反硫化菌的作用, 被脱硫、还原成 匀杂, 反应式如下:



在排水管道内, 释出的 匀杂 与管顶内壁附着的水珠接触, 在噬硫细菌的作用下形成 匀杂韵, 反应式如下:



匀杂韵 浓度可高达 苑豫, 对管壁有严重的腐蚀作用, 可能造成管壁塌陷。污水生物处理的 孕猿原 允许浓度为 员猿皂早晕转蕴

氯化物: 生活污水中的氯化物主要来自人类排泄物, 每人每日排出的氯化物约 缘- 怨皂早晕转蕴 工业废水 (如漂染工业、制革工业等) 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, 如灌溉农田, 会引起土壤板结。氯化钠浓度超过 源皂早晕转蕴 时对生物处理的微生物有抑制作用。

非重金属无机有毒物质: 主要有氰化物 (愧晕) 与砷 (粤猿). 氰化物主要来自电镀、焦化、高炉煤气、制革、塑料、农药以及化纤等工业废水, 在废水中的存在形式是无机氰 (如氢氰酸 匀愧晕, 氰酸盐 愧晕原) 及有机氰化物 (称为腈, 如丙烯腈 匀匀愧晕), 含氰浓度约在 园 ~ 愿皂早晕转蕴 之间。氰化物是剧毒物质, 人体摄入致死量是 园圆缘- 园圆皂早晕转蕴 砷化物主要来自化工、有色冶金、焦化、火力发电、造纸及皮革等工业废水。废水中的存在形式是无机砷化物和亚砷酸盐 粤猿原, 砷酸盐 粤猿原 以及有机砷 (三甲基砷), 对人体的毒性排序为有机砷 跃亚砷酸盐 跃砷酸盐。砷会在人体内积累, 属致癌物质 (致皮肤癌) 之一。

重金属离子: 重金属指原子序数在 园员- 愿猿 之间的金属或相对密度大于 源的金属。污水

源

中重金属主要有汞（ Hg ）、镉（ Cd ）、铅（ Pb ）、铬（ Cr ）、锌（ Zn ）、铜（ Cu ）、镍（ Ni ）、锡（ Sn ）、铁（ Fe ）、锰（ Mn ）等。生活污水中的重金属离子主要来源于人类排泄物；冶金、电镀、陶瓷、玻璃、氯碱和电池等部门排放废水含重金属离子浓度较高。

有机物质及指标

生活污水所含有有机物质主要来源于人类排泄物及生活活动产生的废弃物、动植物残片等，主要成分是碳水化合物、蛋白质与尿素及脂肪。组成元素是碳、氢、氧、氮和少量的硫、磷、铁等。由于尿素分解很快，故在城市污水中很少发现尿素。食品加工、饮料等工业废水中有机物质成分与生活污水基本相同，其他工业废水所含有有机物质种类繁多，主要有酚类、有机酸碱类、表面活性剂、有机农药、取代苯类化合物等，已被查明的三致物质（致癌、致突变、致畸形）有聚氯联苯、联苯氨、稠环芳烃等多达 100 多种，疑致癌物质也超过 100 种。

有机物质按被生物降解的难易程度，可分为两类 源种：

第一类是可生物降解有机物质，可分为两种：①可生物降解有机物质，对微生物无毒害或抑制作用；②可生物降解有机物质，但对微生物有毒害或抑制作用。

第二类是难生物降解有机物质，也可分为两种：③难生物降解有机物质，对微生物无毒害或抑制作用；④难生物降解有机物质，并对微生物有毒害或抑制作用。

上述两类有机物质的共同特点是都可被氧化成无机物。第一类有机物质可被微生物氧化；第二类有机物质可被化学氧化或被驯化、筛选后的微生物氧化。

有机物质污染指标主要通过生化需氧量（ BOD ）、化学需氧量（ COD ）、总需氧量（ TOD ）和总有机碳（ TOC ）表示。

生化需氧量（ BOD ）为在有氧条件下，由于微生物的活动，降解有机物质所需的氧量。由于 BOD 与温度和时间有关，因此，实际应用中常规定温度为 20°C ， 5d 作为测定时间作条件，并以 $\text{BOD}_{5,20}$ 表示。一般 $\text{BOD}_{5,20}$ 与 COD 的比值为 0.65 左右，适宜生化处理。

化学需氧量（ COD ）为在酸性条件下，用强氧化剂将有机物质氧化为 CO_2 和 H_2O 所消耗的氧量。一般按国家标准方法，氧化时间为 2h ，如采用重铬酸钾作为氧化剂，则以 COD_{Cr} 表示；如采用高锰酸钾作为氧化剂，则以 COD_{Mn} 表示。

总需氧量（ TOD ）为有机物质中的主要元素 C 、 H 、 O 、 N 、 S 等，在高温下燃烧时，将分别产生 CO_2 、 H_2O 、 SO_2 和 N_2 所消耗的氧量。测定方法为一定数量的水样，注入含氧量已知的氧气流中，再通过以铂钢为触媒的燃烧管，在 1400°C 高温下燃烧，使水样中含有的有机物质被燃烧氧化，消耗掉氧气流的氧，剩余的氧量用电极测定并自动记录。氧气流原有含氧量减去剩余含氧量即等于总需氧量 TOD ，测定时间仅需几分钟。由于在高温下燃烧，有机物质可被彻底氧化，故 TOD 大于 COD 。

总有机碳（ TOC ）是目前国内、外开始使用的另一个表示有机物质浓度的综合指标。 TOC 的测定原理是先将一定数量的水样经过酸化，用压缩空气吹脱其中的无机碳酸盐，排除干扰，然后注入含氧量已知的氧气流中，再通过以铂钢为触媒的燃烧管，在 1400°C 高温下燃烧，把有机物质所含的碳氧化成 CO_2 ，用红外气体分析仪记录 CO_2 的数量并折算成含碳量即等于总有机碳 TOC 值。测定时间仅几分钟。 TOC 与 TOD 的测定原理相同，但有机物质数量的表示方法不同，前者用消耗的氧量表示，后者用含碳量表示。

三、废水的生物性质及指标

污水中的有机物质是微生物的食料，污水中的微生物以细菌与病菌为主。生活污水、食品

工业污水、制革污水、医院污水等含有肠道病原菌（痢疾、伤寒、霍乱菌等）、寄生虫卵（蛔虫、蛲虫、钩虫卵等）、炭疽杆菌与病毒（脊髓灰质炎、肝炎、狂犬、腮腺炎、麻疹等），如每克粪便中约含有 $10^6 \sim 10^8$ 个传染性肝炎病毒，因此了解污水的生物性质有重要意义。

污水中的寄生虫卵，约有 $1/1000$ 以上可在沉淀池中沉淀去除。但病原菌、炭疽杆菌与病毒等，不易沉淀，在水中存活的时间很长，具有传染性。

污水生物性质的检测指标有大肠菌群数（或称大肠菌群值）、大肠菌群指数、病毒及细菌总数。

大肠菌群数（大肠菌群值）及大肠菌群指数：大肠菌群数为每升水样中所含有的大肠菌群的数目，以个计；大肠菌群指数为查出 1 个大肠菌群所需的最少水量，以毫升（ 10^6 ）计。大肠菌群数与大肠菌群指数是互为倒数。

病毒：污水中已被检出的病毒有 10^3 多种。检出大肠菌群，可以表明肠道病原菌的存在，但不能表明是否存在病毒及其他病原菌（炭疽杆菌），因此还需要检验病毒指标。病毒的检验方法目前主要有数量测定法与蚀斑测定法两种。

细菌总数：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。

细菌总数愈多，表示病原菌与病毒存在的可能性愈大。因此用大肠菌群数、病毒及细菌总数等几个卫生指标来评价污水受生物污染的严重程度就比较全面。

第三节 废水的排放标准

自然水体是人类可持续发展的宝贵资源，必须严格保护，免受污染。因此，当污水需要排入受纳水体时，应处理到允许排入受纳水体的排放标准，以降低对受纳水体的不利影响。我国有关部门为此制定了污水综合排放标准，并于 1983 年 1 月开始实施。

目前，广泛使用的是国家《污水综合排放标准（GB 8961-1983）》，该标准根据污水中污染物的危害程度把污染物分为两类。第一类污染物，指能在环境或动植物内累积，通过食物链对人体健康产生不良影响者，含有此类有害污染物质的废（污）水，不分行业和污水排放方式，也不分受纳水体的功能类别，一律在车间或车间处理设施排放口采样；第二类污染物，指其长远影响小于第一类的污染物质，在排污单位总排放口采样。这两种污染物的最高允许排放浓度都应达到国家《污水综合排放标准》的要求。

《污水综合排放标准》把第二类污染物的排放浓度设为一级、二级和三级标准。对水源头、国家自然保护区等特殊保护的 I 类水域，禁止设排污口；对集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等 II 类水域，禁止新建排污口，现有排污口应按水体功能要求，削减至保证受纳水体水质符合规定用途水质标准；对集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区 III 类水域，首先排入受纳水体的废水必须达到一级排放标准，同时要实施污染物总量控制，使受纳水体水质符合水体功能要求；对 IV、V 类水域的受纳水体，污水排放执行二级标准；对排入设置二级污水处理厂的城镇排水系统的污水，执行三级标准。近年来，随着污水资源化利用的兴起，部分污水处理后要求达到回用水质标准。

按照国家综合排放标准与国家行业排放标准不交叉的原则，各行业可执行废水行业排放

标准，行业标准没有的其他水污染物可参照《污水综合排放标准》执行。国家综合排放标准与国家行业排放标准见附录。

上面提到的排放标准都是浓度标准。这类标准存在明显的缺陷，它不论污水受纳水体的大小和状况，不论污染源的大小，都采取同一标准。因此，即使满足排放标准，如果排放量大大超过受纳水体的环境容量，也会对水体造成不可逆转的严重后果。

第四节 废水的水量及其变化规律

废（污）水流量具有不稳定和不均性，每年、每月、每日、每时都可能不相同。当筹建一座废（污）水处理设施时，掌握现有废（污）水量、未来污水量及其变化是相当重要的。因此应进行水量的测定，若没有这样的测定数据，可做一下估算并对未来废（污）水水量进行适当考虑。以污水的相关理论为基础，并考虑将要处理的废（污）水水质，便可以进行污水处理设施的设计。

废水的水量及变化规律确定分为两种情况：一种是已建项目投产后的废水处理工程或城市已形成规模的污水处理工程，这种情况可对废（污）水的水质水量进行同步的实测，更直接地了解其变化规律；另一种是新建项目的废水处理工程或规划城市的污水处理工程，这种情况可根据类比同类工厂或同类生活习惯和水平的城市确定废（污）水产生量、也可通过水量平衡或规划用水量进行系数折算。

一般城市污水量多采用给水量折算或用与本地区相似条件地区实际统计的生活用水量进行测算。

工业废水水量可按单位产品的废水量计算，或按工艺流程和设备排水量计算，或按实测水量数据计算。工业废水水量变化系数根据生产工艺过程及生产性质确定，如要进行实测，应按生产周期确定监测频率。

工业企业中的生活污水量和淋浴水量的标准及厂内公用建筑物生活污水量的标准参见现行给水排水规范。

生活污水和工业废水的水量也可根据表 员原员进行估算。

表 员原员 生活污水和工业废水量计算公式

名称	计算公式	符号说明
居住区生活污水设计最大流量 Q_{max}	$Q_{max} = q \cdot N \cdot K$	择——每人每日平均污水量定额， $l \cdot d^{-1} \cdot 人^{-1}$ 晕——设计人口数，人 运——总变化系数
工业企业工业废水设计最大流量 Q_{max}	$Q_{max} = \frac{W \cdot Q}{T} \cdot K$	皂——生产过程中单位产品的废水量定额， $l \cdot 单位产品^{-1}$ 酝——每日的产品数量 运——总变化系数，根据工艺或经验决定 裁——工业企业每日工作小时数
工业企业生活污水设计最大流量 Q_{max}	$Q_{max} = \frac{Q_1 \cdot N_1 + Q_2 \cdot N_2}{T} \cdot K$	择——一般车间每班每人淋浴水量定额，一般以 $l \cdot 班^{-1} \cdot 人^{-1}$ 计 择——热车间每班每人污水量定额，一般以 $l \cdot 班^{-1} \cdot 人^{-1}$ 计 晕——一般车间最大班工人数，人 晕——热车间最大班工人数 裁——每班工作小时数

(续)

名称	计算公式	符号说明
源江工业企业淋浴用水设计最大流量 Q_{LH}	$Q_{LH} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{LH_i} \cdot N_i}{K}$	<p>择——不太脏车间每班每人淋浴水量定额, 一般以 $1.5 \sim 2.0$ 升/人·班) 计</p> <p>择——较脏车间每班每人淋浴水量定额, 一般以 $2.0 \sim 2.5$ 升/人·班) 计</p> <p>量——不太脏车间最大班使用淋浴的人数, 人</p> <p>量——较脏车间最大班使用淋浴的人数, 人</p>

表 员京圆 生活污水量总变化系数

污水平均日流量 $Q_{平均}$	≤ 10	10~15	15~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100	≥ 100
总变化系数 $K_{总}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2

表 员京猿 工业废水量总变化系数

行业	冶金工业	纺织工业	皮革工业	化学工业	食品工业	造纸工业
总变化系数 $K_{总}$	1.5~1.8	1.5~1.8	1.5~1.8	1.5~1.8	1.5~1.8	1.5~1.8

废(污)水水量可用曲线或图表法(计量)确定。该曲线或图表对城市污水反映了水量昼夜变化情况, 为生活污水量、工业废水量、公共设施污水量、入渗水量和渗漏水量的总和。对工业废水反映了生产周期废水的产生量的变化情况, 在配合水质水量的同步监测, 对瞬时污染物的排放负荷就有较为系统的了解, 为废水处理工程设施设计提供了较为准确的资料, 有利于正确的选择处理工艺和技术, 做到稳定达标和投资及运行成本经济可行。

参 考 文 献

- 员(丹麦)汉斯 圆云 等著 圆污水生物与化学处理技术 圆国家城市给水排水工程技术中心译 圆北京: 中国建筑工业出版社, 员圆猿
- 圆 韩洪军主编 圆污水处理构筑物设计与计算 圆哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 圆圆圆
- 猿 卜秋平等主编 圆城市污水处理厂的建设与管理 圆北京: 化学工业出版社, 圆圆圆
- 源 杨丽芬, 李友琥主编 圆环保工作者实用手册 圆北京: 冶金工业出版社, 圆圆圆
- 缘 冯生华编著 圆城市中小型污水处理厂的建设与管理 圆北京: 化学工业出版社, 圆圆圆
- 远 李国欣, 李旭东 圆污水资源化利用技术现状及其应用实例 圆给水排水, 圆圆圆, 圆(缘): 员缘- 员愿

第二章 废水生物处理原理

废水生物处理是指利用微生物的代谢作用去除废水中有机污染物的一种方法。其基本原理为在废水构筑物中，通过微生物酶的作用，将废水中的污染物分解。在好氧条件下污染物最终被分解成 CO_2 、 H_2O 和各种无机酸盐；在厌氧条件下污染物最终形成 CH_4 、 H_2 、 H_2S 、 H_2O 和 H_2O 以及有机酸和醇等。主要以分散的悬浮污泥如活性污泥（ MLSS ）和厌氧颗粒污泥（ SBR ）和生物膜（ SBR ）的形式存在。

第一节 废水生物处理过程基本原理

一、好氧生物处理

废水好氧生物处理是向装有好氧微生物的容器或构筑物中不断地供给足够量氧的条件下，利用好氧微生物分解废水中的污染物质。一般是通过机械设备往曝气池中连续不断地充入（压缩）空气，亦可采用氧气发生设备提供纯氧，并使氧溶解于废水中，这种过程称为曝气，处理废水的构筑物称为曝气池。曝气的过程除供氧外，还起搅拌混合作用，保持活性污泥在混合液中呈悬浮状态，同时增加微生物（以活性污泥或生物膜形式存在）与基质污染物的碰撞几率，使其与废水充分接触混合。其代谢途径包括糖酵解途径、 β 原氧化、三羧酸循环等，糖、脂类、蛋白质等三大类有机物以及其他有机化合物的好氧分解的彻底氧化离不开这些途径，只是中间转化途径不同（中心是三羧酸循环），微生物的类群不同。另外，废水水质不同，微生物的种类和数量也有很大差别。如在生活废水处理过程中，微生物种类复杂多样，几乎多种微生物类群都存在，如病毒、立克次氏体、细菌、放线菌、霉菌、酵母菌、单细胞藻类、原生动物和后生动物。而在工业废水处理过程中，微生物种类比较单纯，自然界中的微生物大部分都无法在其中生存，只有少数种类可生长。当然，就废水处理过程中起主要作用的类群而言，细菌仍占主要地位。好氧生物处理原理如图 2-1 所示。

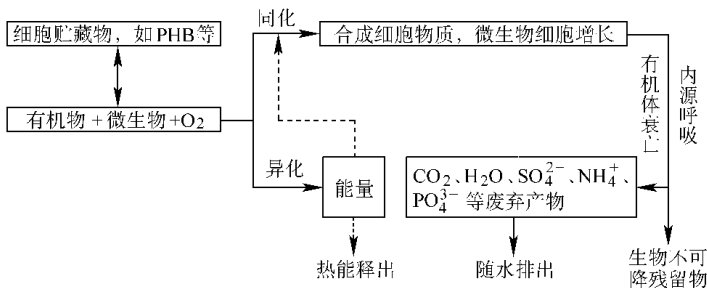


图 2-1 好氧生物处理过程原理

好氧生物处理曝气方式主要有：鼓风曝气、表面加速曝气和射流曝气。由于好氧生物处

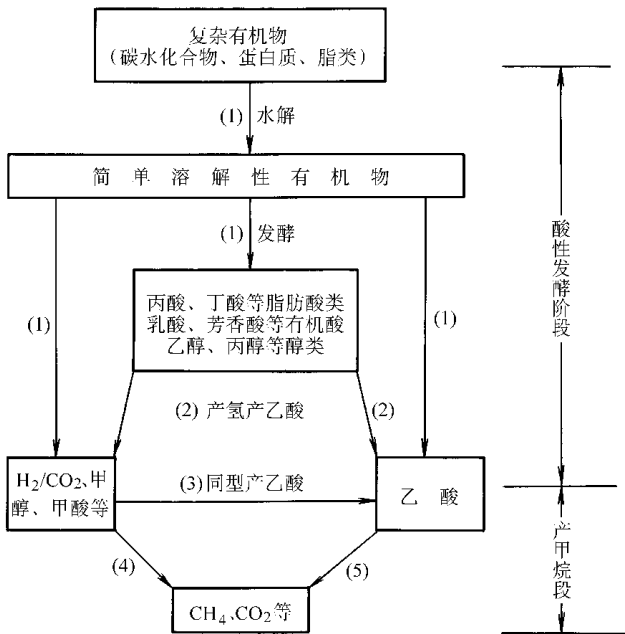
理运行费用主要为电耗，所以提高曝气过程空气中氧的利用率，增加单位电耗充氧量一直是曝气设备和技术开发的重点。

好氧处理主要方法有：活性污泥法、~~杂~~生物接触氧化法、生物转盘、生物滤池、氧化沟、氧化塘等。好氧生物处理主要适用于 ~~性~~以下废水的处理。

二、厌氧生物处理

厌氧生物处理法具有节能、运转费低、能产生沼气等特点，因而在处理高浓度有机废水中被普遍采用。厌氧处理废水是在无氧条件下进行的，是由厌氧微生物作用的结果。厌氧微生物在生命活动过程中不需要氧，有氧还会抑制或杀死这些微生物。这类微生物分两大类群，即发酵细菌（产酸菌）和产甲烷菌。废水中的有机物在这些微生物联合作用下，通过酸性发酵阶段和产甲烷阶段，最终被转化生成 ~~性~~等气体，同时使废水得到净化。

酸性发酵阶段是指微生物在分解有机物过程中产生大量的有机酸，主要是挥发性脂肪酸（~~灾~~）和醇，使发酵环境中 ~~美~~值下降，呈现酸性。产甲烷阶段是指微生物在这一阶段中，分解第一阶段产生的有机酸和醇，通过无氧呼吸产生 ~~性~~等，使发酵环境中 ~~美~~值上升，此时，水中的 ~~美~~值可提高至 ~~苑~~。参与第二阶段的细菌为严格厌氧菌，主要是产甲烷细菌。因产甲烷细菌代谢速度很慢，故第二阶段需要较长的时间。有机物分解厌氧发酵过程示意图如图 ~~圆~~



(员) 发酵性细菌, (圆) 产氢产乙酸细菌, (猿) 同型产乙酸菌
(源) 利用 ~~匀~~和 ~~性~~的产甲烷菌, (缘) 分解乙酸的产甲烷菌

图 ~~圆~~ 有机物分解厌氧发酵过程示意图

厌氧生物处理可直接接纳 ~~性~~以上的高浓度有机废水，而这种高浓度废水若采用好氧生物处理法必须稀释几倍甚至几百倍，致使废水处理的运行费很高。对于酒精工业、食品工业、啤酒厂、屠宰场等废水都适宜用厌氧处理法。但厌氧法处理后的出水 ~~性~~和 ~~性~~仍很高，达不到排放标准的要求，因而，欲达到国家排放标准，后续常接好氧生物

处理工艺，即常称的 **曝气法**。

近年来的研究和实践表明，处理高浓度有机废水，先采用厌氧法处理，使废水中的 **挥发性和 BOD₅** 大幅度降低，然后再用好氧法进行处理，可取得比较好的效果，特别是用来处理某些含难降解物质浓度高的有机废水，如制药、酒精、屠宰、化工、轻纺等高浓度废水，因为厌氧微生物对某些有机物有特异分解能力。

三、废水生物处理基本过程

废水生物处理过程可归纳为四个连续进行的阶段，即絮凝作用（在生物膜法中称做挂膜）、吸附作用、氧化作用和沉淀作用。下面以活性污泥法为例说明这四个作用。

1. 絮凝作用

在废水生物处理中，细菌常以絮凝体（**絮凝体**）形式存在。废水进入生物反应池后，废水中的产荚膜细菌可分泌出粘液性物质，并相互粘连形成菌胶团。菌胶团又粘连在一起，絮凝成活性污泥或粘附在载体上形成生物膜。据资料介绍，纤毛类原生动动物亦可分泌出多糖及粘蛋白（**胞外聚合物**），可促进絮凝体的形成。所以，活性污泥或生物膜是微生物群体（包括细菌、真菌、放线菌、原生动物等）存在的形式，并在废水生物处理中具有重大的生态学意义。

2. 吸附作用

吸附作用是发生在微小粒子表面的一种物理化学的作用过程。微生物个体很小，并且细菌也具有胶体粒子所具有的许多特性，如细菌表面一般带有负电荷，而废水中有机物颗粒常带正电荷，所以它们之间有很大的吸引作用。活性污泥的表面积介于 $10000 \sim 100000 \text{ m}^2/\text{g}$ ，其表面附有的粘性物质对废水中的有机物颗粒、胶体物质有较强吸附能力，而对溶解性有机物的吸附能力很小。对于悬浮固体和胶体含量较高的废水，吸附作用可使废水中的有机物含量减少 $20\% \sim 50\%$ 左右。

废水中的重金属离子，铁、铜、铬、镉、铅等也可被活性污泥和生物膜吸附，废水中大约有 $10\% \sim 20\%$ 的重金属离子可通过吸附作用去除。

吸附作用是一种物理化学作用，所以它的总吸附量有一个极限，达到此极限后，吸附作用就基本结束。吸附的速度在初期最大，随着时间的推移，吸附速度越来越小。根据活性污泥法的运行经验，在充分混合曝气的条件下，大约经过 $10 \sim 20 \text{ min}$ 即可完成这个吸附过程。从废水处理的角度看，颗粒的和胶体的有机污染物一旦粘附于活性污泥，即可通过固液分离的方法，将这些污染物从废水中清除出去。

3. 氧化作用

氧化作用是发生在微生物体内的一种生物化学的代谢过程。被活性污泥和生物膜吸附的大分子有机物质，在微生物胞外酶的作用下，水解为可溶性的有机小分子物质，然后透过细胞膜进入微生物细胞内。这些被吸收到细胞内的物质，作为微生物的营养物质，经过一系列生化反应途径，被氧化为无机物 **CO₂** 和 **H₂O** 等，并释放出能量；与此同时，微生物利用氧化过程中产生的一些中间产物和呼吸作用释放的能量，合成细胞物质。在此过程中微生物不断繁殖，有机物也就不断地被氧化分解。

微生物对吸附的有机物氧化分解需要较长的时间，有的需要几小时甚至十几个小时才能完成。在微生物吸附有机物的同时，尽管氧化分解作用以相当高的速率进行着，但由于吸附时期较短，氧化分解掉的有机物仅占总吸附量的一小部分，大部分被吸附的有机物需要更长

的时间才能全部氧化分解。

沉淀作用

废水中有机物质在活性污泥或生物膜的氧化分解作用下无机化后，处理后水往往排至自然水体中，这就要求排放前必须经过泥水分离。

活性污泥，特别是生物膜具有良好的沉降性能，使泥水分离，澄清水排走，污泥沉降至池底，这是废水生化处理必须经过的步骤，也是非常重要的步骤。若活性污泥或脱落的生物膜不能与水分离，则这两种生物处理技术就不可能实现。若泥水不经分离或分离效果不好，由于活性污泥本身是有机体，进入自然水体后将造成二次污染。

根据废水生物处理中微生物对氧的要求，可把废水生物处理分为好氧处理和厌氧处理两大类。根据微生物存在的状态分为活性污泥法、生物膜法及自然处理技术。但不论是何种处理工艺，污染物均有三个去向：①微生物的增长和细胞物质积累；②产生代谢产物和能量；③残存物质。

废水生化处理对微生物的要求主要有：①能够代谢废水中的有机物；②能与处理后的水彻底分离（这对于厌氧生物处理更为重要，因为它既是保证出水水质，又是使处理能持续下去的必要条件）。

同一种有机污染物在好氧和厌氧条件下转化的特点不同。①共同点：微生物以有机污染物作为营养物质通过合成代谢组成细胞物质，通过分解代谢产生能量和代谢产物。②不同点：转化条件不同，好氧转化在有氧条件下进行，厌氧转化在无氧或缺氧条件下进行；有机污染物的降解途径不同；代谢过程中的最终电子受体（受氢体）不同，好氧转化的受氢体是分子氧，厌氧转化的受氢体是代谢过程中产生的有机物（如：小分子有机酸、醇）或含氧的无机物（如： NO_3^- 、 NO_2^- 、 CO_2 等）；代谢的终产物不同，好氧转化的产物为最终的氧化产物（如： CO_2 、 H_2O 、 NO_3^- 、 NO_2^- 等），厌氧转化的产物为小分子有机物或相应的还原产物（如：有机酸、醇、 H_2 、 H_2S 、 CH_4 等）；物质代谢的速率不同，好氧代谢速率高于厌氧代谢；细胞生长速率不同，好氧转化过程积累的细胞物质质量高于厌氧转化过程。

第二节 废水生物处理过程中主要微生物种群

生物类群和与之适配的生物反应器是废水的生物处理系统的核心。以微生物为主体的各种生物类群构成的废水生物处理生态系统中，微生物对有机物质转换的效率之高是任何天然水体生态系统所不可比拟的，其种群、数量及其活性会直接影响处理效率和出水的好坏。活性污泥和生物膜中存在的微生物，几乎包括了微生物的各个类群，其中属于原核生物有细菌、放线菌、蓝细菌，属于真核生物的有多细胞的微型动物、酵母菌、丝状真菌以及单细胞藻类等，此外，还有病毒和立克次氏体。在多数情况下，主要微生物类群是细菌，特别是异养型细菌占优势。

一、活性污泥中主要生物类群

细菌

组成活性污泥的细菌一般通过显微镜确认。根据许多报道，活性污泥絮体中生物种群的变化较大，如1969年 砾泽和 月刚等所分离的 11 个不同菌株中，有 1 株是好氧性芽孢杆菌；1971年 月刚等发现在活性污泥中有 1 株的菌为产气气杆菌（*Clostridium pasteurianum*）。

属为变形菌属（*Proteobacteria*）；1979年 曹德发现活性污泥中大多数细菌为革兰氏阴性杆菌，属于假单胞菌属、黄杆菌属和无色杆菌属，并指出只有少量大肠菌类和好气性芽胞杆菌出现；1980年 曹德和 曹德在自己设计的曝气池中，用 1%浓度的营养肉汤作为人工废水来驯化活性污泥，从中分离到能形成菌胶团絮凝体的细菌有：生枝动胶菌（*Sphaerotilus*）、蜡状芽孢杆菌（*Bacillus pasteurii*）、中间埃希氏菌（*Escherichia intermedia*）、粪产气副大肠杆菌（*Paraclostridium perfringens*）、放线形诺卡氏菌（*Actinomyces*）和黄杆菌属（*Xanthomonas*）等；1980年 曹德和 曹德在研究牛奶废水活性污泥时，分离得到菌株中产碱杆菌属（*Alcaligenes*）占 40%、黄杆菌属占 30%、微球菌属占 15%、假单胞菌属占 10%；1981年 曹德等进行了有关活性污泥细菌相研究，其中丛毛单胞菌属和动胶菌属占优势，分别为 30%~40%，15%~20%；同年 曹德对 10个污水处理厂的活性污泥和由人工合成污水培育成熟的活性污泥的细菌相进行了调查研究，调查结果说明在污水处理厂的活性污泥中是以产碱杆菌属、纓滴虫属、无色杆菌属、黄杆菌属等占优势，而在人工合成污水的活性污泥中则以球菌占多数；1982年 曹德等人进一步对那些被认为在活性污泥中不占优势的蛭弧菌属、大肠杆菌、噬菌体等进行了试验，并对它们在活性污泥中的净化功能进行了探讨；1982年 曹德收集整理了大量有关活性污泥细菌的文献，并汇总了在分类学上已有报道的主要细菌，其中，报道得最多的是假单胞菌属、黄杆菌属，无色杆菌属、球衣菌属、动胶杆菌属等。1982年中国科学院水生生物研究所资料报道，他们从武汉印染厂染色废水活性污泥中分离到 100株菌种，其中有 100株属于动胶菌属（*Sphaerotilus*）。

通过以上研究分析，活性污泥中占优势的细菌见表 10-1

表 10-1 活性污泥中主要细菌的属名

中文	英文	中文	英文
假单胞菌属	<i>Pseudomonas</i>	丛毛单胞菌属	<i>Sphaerotilus</i>
纓滴虫属	<i>Limnodinium</i>	亚硝化单胞菌属	<i>Nitrosomonas</i>
动胶菌属	<i>Sphaerotilus</i>	球衣菌属	<i>Sphaerium</i>
大形丝状菌		固氮菌属	<i>Cyanothrix</i>
色杆菌属	<i>Chromatium</i>	无色杆菌属	<i>Chromatium</i>
黄杆菌属	<i>Xanthomonas</i>	大肠杆菌	<i>Escherichia</i>
产碱菌属	<i>Alcaligenes</i>	微球菌属	<i>Micrococcus</i>
葡萄球菌属	<i>Staphylococcus</i>	芽孢杆菌属	<i>Bacillus</i>
节杆菌属	<i>Actinomyces</i>	棒状杆菌属	<i>Bacillus</i>
诺卡氏菌属	<i>Actinomyces</i>	分枝杆菌属	<i>Actinomyces</i>
埃希氏菌属	<i>Escherichia</i>	蛭弧菌属	<i>Tripartiella</i>
噬菌体	<i>Bacteriophage</i>	气杆菌属	<i>Aeromonas</i>
变形菌类	<i>Proteobacteria</i>	链球菌属	<i>Streptococcus</i>
短杆菌属	<i>Bacillus</i>	柄细菌属	<i>Chromatium</i>
贝氏硫菌属	<i>Beijerinckia</i>	噬纤维菌属	<i>Chromatium</i>
螺菌属	<i>Spirillum</i>	粪产气副大肠杆菌	<i>Paraclostridium perfringens</i>

废水处理曝气池中活性污泥不但细菌种类多，数量也非常大，活菌数约 $10^6 \sim 10^8$ 个/克，干污泥中细菌数量可达 10^8 个/克。

10-2 其他生物