

# 食品发酵工业 三废处理与工程实例

曹健 李浪 主编



化学工业出版社

# 食品发酵工业 三废处理与工程实例

曹健 李浪 主编



化学工业出版社

·北京·

本书是一本关于食品发酵工业三废处理有关理论与实践的图书，系统地介绍了食品发酵工业废水、废渣、废气的处理方法，对酿酒工业、有机酸发酵工业、氨基酸发酵工业、抗生素发酵工业、微生物多糖和微生物油脂工业等产生的废水处理方法进行了实例分析并提供了相应的解决方案。本书还对固体废弃物和大气污染的治理技术和无废生产工艺进行了介绍。

本书可作为高等院校食品工程、生物工程、环境科学与工程等相关专业师生的参考书，也可对相关科研人员及环境工程技术人员提供参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

食品发酵工业三废处理与工程实例/曹健，李浪主编。  
北京：化学工业出版社，2007.2  
ISBN 978-7-122-00015-6

I. 食… II. ①曹…②李… III. 食品-发酵-废物处理 IV. X792

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 022904 号

---

责任编辑：张彦  
责任校对：李林

装帧设计：潘峰

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）  
印刷：北京永鑫印刷有限责任公司  
装订：三河市前程装订厂  
850mm×1168mm 1/32 印张14¼ 字数426千字  
2007年3月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899  
网 址：<http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：32.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

食品发酵工业是以粮食和农副产品为主要原料的加工工业。它主要包括酿酒工业、有机酸工业、氨基酸工业、抗生素工业、微生物多糖与微生物油脂工业以及大豆分离蛋白、酱油、食醋、酶制剂等传统行业。在各产业部门中，产值已跃居第一位，成为国民经济的主要支柱产业之一。

一般来讲，食品发酵工业的主要废渣水来自原料处理后剩下的废渣，分离与提取主要产品后的废母液、废糟，以及生产过程中各种冲洗水、冷却水。2005年，食品发酵排放废水（包括尚未利用的冷却水、冷凝水）总量约20亿~25亿立方米，其中废糟、废渣达3亿~4亿立方米，有机物总量超过1500万吨。随着发酵工业的发展，该工业的环境问题也日趋严重，已成为轻工污染大户。

多年来，限于技术、投资、管理等原因，全国几万家食品发酵企业基本上均未能将废渣水加以很好地利用与治理（更谈不上实施清洁生产）。这样，一方面浪费了大量粮食与农副产品资源，另一方面又对环境造成了严重污染。为了解决工业废水污染问题，许多国家的环境决策者提出了排放污染物最小化的概念，即从污染源头进行减量，变末端治理为对全工艺过程进行控制。同时发展高效、低能的处理技术，以保障排放最小化清洁技术的实施。它作为防治工业污染、保护环境、提高工业企业整体素质、实现可持续发展战略的重大措施，已成为当今世界的潮流。

因此，食品发酵工业“三废”处理需要一定的方法、技术和设备，使之无害化、减量化和资源化。本书总结了编者多年从事食品发酵工业“三废”处理教学和科研经验，结合国内外相关资料编写了本书。全书共分为六章，第一章主要介绍了食品发酵工业废水的总体概况；第二章是工业废水处理的基本方法，主要叙述了工业“三废”处理的基本方法，详细介绍了废水的各种物理、化学和生物处理基本原

理的同时，强调如何把这些原理应用于解决各种实际工业水污染问题的处理设计中；第三章针对食品发酵工业废水的处理理论与实践进行了详细介绍，并通过一些典型的工业废水处理方法，介绍了国内外成功的实践经验，为读者提供了比较完整的理论和应用指导；第四章主要介绍了固体废弃物的生物处理及处置技术，为工业固体废弃物的综合利用指明了方向；第五章主要介绍了大气污染的生物治理技术；第六章主要介绍了无废工艺的概念、实现无废工艺的主要途径、创建无废工业区的方法与指南。

编写本书的主要人员和分工是：第一章、第二章由曹健编写；第三章、第六章由李浪编写；第四章由李魁编写；第五章由张国治编写。全书由李浪统稿，曹健审阅。

本书在编写过程中得到了学校领导及中国科学院上海生物化学研究所博士于海东的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者知识水平有限，尽管在编著过程中努力追求完善，但书中难免出现疏漏之处，欢迎读者提出批评和改进意见。

编者  
2007年3月

## 欢迎加入化学工业出版社读者俱乐部

您可以在我们的网站 ([www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)) 查询、购买到数千种化学、化工、机械、电气、材料、环境、生物、医药、安全、轻工等专业图书以及各类专业教材, 并可参与专业论坛讨论, 享受专业资讯服务, 享受购书优惠。欢迎您加入我们的读者俱乐部。

### 两种入会途径 (免费)

- ◇ 登录化学工业出版社网上书店 ([www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)) 注册
- ◇ 填写以下会员申请表寄回 (或传真回) 化学工业出版社

### 四种会员级别

- ◇ 普通会员
- ◇ 银卡会员
- ◇ 金卡会员
- ◇ VIP 会员

## 化学工业出版社读者俱乐部会员申请表

姓名:	性别:	学历:
邮编:	通讯地址:	
单位名称:	部门:	
您从事的专业领域:	职务:	
电话:	E-mail:	

◆ 您希望出版社给您寄送哪些专业图书信息? (可多选)

- 化学  化工  生物  医药  环境  材料  机械  电气  安全  能源  农业  
 轻工 (食品/印刷/纺织/造纸)  建筑  培训  教材  科普  其他 ( )

◆ 您希望多长时间给您寄一次书目信息?

- 每月 1 次  每季度 1 次  半年 1 次  一年 1 次  不用寄

◆ 您希望我们以哪种方式给您寄书目?  邮寄纸质书目  E-mail 电子书目

此表可复印, 请认真填表后发传真至 **010-64519686**, 或寄信至: 北京市东城区青年湖南街 13 号化学工业出版社发行部 读者俱乐部收 (邮编 100011)

联系方法:

热线电话: 010-64518888, 64518899 E-mail: [hy64518888@126.com](mailto:hy64518888@126.com)

# 目 录

<b>第一章 总论</b> .....	1
<b>第一节 食品发酵工业废水的特性</b> .....	2
一、废水中污染物的种类 .....	2
二、不同来源废水中污染物的特性 .....	10
<b>第二节 食品发酵工业废渣液的固-液分离技术</b> .....	27
<b>第三节 食品发酵工业废渣的干燥技术与综合利用</b> .....	33
一、干燥的基本概念 .....	33
二、干燥速度和干燥时间 .....	33
三、干燥器 .....	35
<b>第四节 食品发酵工业废水中 useful 成分的综合利用</b> .....	43
一、蒸发技术 .....	43
二、食品与发酵工业废水的综合利用途径 .....	52
<b>第五节 我国食品发酵工业废水的排放标准</b> .....	55
<b>第二章 工业废水处理的基本方法</b> .....	58
<b>第一节 物理处理方法</b> .....	58
一、筛滤（截流） .....	58
二、沉淀 .....	59
三、浮选 .....	66
四、过滤 .....	69
五、吸附 .....	75
<b>第二节 化学处理方法</b> .....	78
一、化学沉淀法 .....	78
二、氧化还原法 .....	83
三、离子交换法 .....	88
<b>第三节 生物处理方法</b> .....	94
一、生物处理法分类 .....	94
二、好氧生物处理法 .....	96
三、厌氧生物处理法 .....	127

四、好氧法与厌氧法的组合工艺 .....	149
五、污泥处理与处置 .....	149
第四节 三级处理方法 .....	159
一、电渗析法 .....	160
二、反渗透 .....	169
三、超滤 .....	184
四、液膜分离法(萃取法) .....	187
五、吹脱、汽提法 .....	191
<b>第三章 食品发酵工业废水处理实例 .....</b>	<b>193</b>
第一节 酿酒工业 .....	193
一、酒精与白酒工业废水处理 .....	193
二、啤酒工业废水处理 .....	208
三、果酒与其他酒类工业废水处理 .....	221
第二节 有机酸发酵工业 .....	226
一、乳酸工业废水处理 .....	226
二、柠檬酸工业废水处理 .....	230
三、葡萄糖酸等工业废水处理 .....	238
第三节 氨基酸发酵工业 .....	239
一、谷氨酸与味精工业废水处理 .....	239
二、赖氨酸工业废水处理 .....	254
第四节 抗生素发酵工业 .....	263
一、抗生素工业废水处理 .....	263
二、青霉素工业废水处理 .....	270
三、头孢霉素工业废水处理 .....	275
四、庆大霉素工业废水处理 .....	277
五、红霉素等工业废水处理 .....	280
第五节 微生物多糖与微生物油脂 .....	285
一、黄原胶工业废水处理 .....	285
二、甘油工业废水处理 .....	290
三、微生物油脂工业废水处理 .....	294
第六节 其他发酵产品 .....	296
一、酱油工业废水处理 .....	296
二、醋酸工业废水处理 .....	307
<b>第四章 固体废弃物的生物处理及处置技术 .....</b>	<b>310</b>
一、概述 .....	310



二、生产性固体废弃物 .....	312
三、废水中回收的固体废弃物 .....	315
四、废气中分离的固体废弃物 .....	316
五、堆肥 .....	317
六、填埋技术 .....	323
<b>第五章 大气污染的生物治理技术 .....</b>	<b>333</b>
<b>第一节 生物法净化有机废气的原理 .....</b>	<b>333</b>
一、概述 .....	333
二、废气生物净化技术发展及现状 .....	340
<b>第二节 有机废气生物处理的工艺研究与应用 .....</b>	<b>345</b>
一、挥发性有机化合物 (VOCs) 的生物膜处理技术 .....	345
二、挥发性有机化合物 (VOCs) 的生物膜处理装置 .....	349
三、氮氧化物 NO <sub>x</sub> 的微生物净化技术 .....	360
四、硫氧化物的污染控制 .....	368
<b>第三节 生物法净化有机废气的高新技术应用与展望 .....</b>	<b>386</b>
一、纳米技术在环境污染防治中的应用 .....	386
二、二氧化磷的微生物去除 .....	388
三、生物传感器的研究现状及应用 .....	388
<b>第六章 无废工艺——工业发展新模式 .....</b>	<b>391</b>
<b>第一节 无废工艺的理论基础 .....</b>	<b>391</b>
一、无废工艺的概念 .....	391
二、创建无废工艺的基本原则和步骤 .....	398
<b>第二节 实现无废生产的主要途径 .....</b>	<b>401</b>
一、强化内部管理 .....	401
二、改革原有工艺, 开发全新流程 .....	403
三、资源综合利用, 实现物料的闭路循环 .....	409
四、产品的改变 .....	415
<b>第三节 创建无废工业区 .....</b>	<b>421</b>
一、工业发展的空间和时间因素 .....	421
二、工业区的一般概念 .....	424
三、无废工业区——工业生态化的基本单元 .....	428
四、无废工业区的能源供应和供水问题 .....	433
<b>参考文献 .....</b>	<b>441</b>

# 第一章 总 论

水是人类生活和生产活动中不可缺少的物质资源。在使用过程中，水资源由于丧失使用价值而被废弃外排，并以各种形式使受纳水体受到影响，这种水就称为废水。废水处理是发展中国家及淡水资源缺乏国家的一个庞大工程。

废水是由水和各种杂质组成的一种成分复杂的液体，这些杂质既有有机物，也有无机物，以分子胶粒及悬浮颗粒形式分散于水介质中。根据来源不同，可将废水分为生活废水和工业废水两大类。生活废水是人们在日常生活中产生的废水，主要包括厨房洗涤、冲洗厕所和沐浴等废水。工业废水则是在工业生产过程中的所排出的废水，其成分主要决定于生产过程中采用的原料以及所应用的工艺。

食品工业是利用动植物原料，以各种工艺加工成可供人们食用的产品的工业总称，包括：①水果、蔬菜加工业（速冻果蔬、果蔬罐头、干制果蔬、蜜饯、果汁、果酱、菜泥等）；②制糖工业（甜菜糖、蔗糖、淀粉糖、葡萄糖、麦芽糖及各糖浆生产业）；③粮食油脂加工业（各类粮食如稻米、小麦、玉米、大麦、大豆、豌豆、蚕豆、小米等的加工，也包括植物油、动物油、油脂精炼、油脂氢化、人造奶油等）；④肉类加工业（牲畜和肉类加工，加工制品主要有冻肉、火腿、香肠、罐头等）；⑤禽类加工业（屠宰家禽、冻禽、鲜蛋包装、冰蛋、蛋粉、蛋白片等）；⑥水产加工业（冻鱼、虾、熏鱼、加工鱼粉、鱼油等）；⑦乳品工业（瓶装袋装牛奶、奶油、奶酪、奶粉、冰淇淋等）；⑧糖果工业（各种水果糖、奶糖、巧克力、口香糖等）；⑨饮料工业（汽水、矿泉水、配制果汁等无酒精饮料和啤酒、葡萄酒、白酒等含酒精饮料，以及茶、咖啡饮品等）；⑩调味料及添加剂工业（调味料、香辛料、食用香精等）；⑪饮食服务行业（主要是餐饮服务业）。

发酵工业则是借助微生物在有氧或无氧条件下的生命活动制备微

生物菌体，或直接产生微生物代谢产物的生产过程的统称。它既包括酱油、酱、豆腐乳、酱菜、食醋、白酒、黄酒等传统酿造业，也包括近代的酒精、柠檬酸、谷氨酸、乳酸、丙酮-丁醇等发酵工业，还包括以抗菌素、酶制剂、单细胞蛋白等为代表的新兴发酵工业。由此可见，发酵工业既是生物工程的一个分支，也是食品工业的组成部分。

1998年我国食品发酵企业已达7万多个，总产值达5900亿元，产值在各产业部门中已跃居第一位，成为国民经济的主要支柱产业。我国的粮油加工产品产量、味精生产和消费、柠檬酸的生产和出口也居世界第一位。然而，随着这些工业的飞速发展，由此带来的环境问题也日趋严重。食品与发酵工业的废水处理已成当务之急。在废水处理工程实践中，处理程度的确定和工艺流程的选择、处理构筑物的设计和运行管理，都要求对废水性质有充分的了解，否则将无法获得良好的工程效果。

### 第一节 食品发酵工业废水的特性

#### 一、废水中污染物的种类

废水的特性包括废水中污染物的种类、性质和浓度。了解这些特性，对于废水的收集、处理和处置设施的设计、操作以及环境质量的技术管理非常重要。废水中污染物的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、感官性污染物和热污染等。为表征废水水质，人们规定了许多水质指标，主要包括有毒物质、有机物质、悬浮物、细菌总数、pH值、色度、温度等。一种水质指标可能体现几种污染物的污染情况，而一种污染物也可能通过几种水质指标来反映。

##### (一) 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，悬浮物的存在不但使水质浑浊，而且使管道及设备阻塞、磨损，干扰废水处理及回收设备的运行。由于大多数废水中都有悬浮物，因此去除悬浮物是废水处理的一项基本任务。

浊度是通过测定水的光传导性能而得到的一项指标，其值可表征

废水中胶体和悬浮物的含量。固体污染物在水中以溶解态（直径小于1nm）、胶体态（直径介于1~100nm）和悬浮态（直径大于100nm）三种状态存在。水质分析中把固体污染物分为两部分，能透过孔径约3~10 $\mu\text{m}$ 滤膜的称为溶解固体（dissolved solid, DS），不能透过的称为悬浮固体或悬浮物（suspended solid, SS），两者合称为总固体（total solid, TS）。不过，必须指出的是，这种分类仅仅是为了水处理技术的需要。

测定总固体时，烘干时采用的温度对测定结果有较大影响。目前一般规定用105~110 $^{\circ}\text{C}$ 的温度进行烘干，但是，当水样中含有大量的钙盐及镁盐（如硫酸钙、硫酸镁）时，由于此类化合物中含有结晶水，105 $^{\circ}\text{C}$ 的温度尚不能去除这部分结晶水，因此需要用更高的温度（可采用180 $^{\circ}\text{C}$ ）来进行干燥。

## （二）需氧污染物

废水中能通过生物化学和化学作用而消耗水中溶解氧的物质，统称为需氧污染物。绝大多数的需氧污染物是有机物，因而在一般情况下，需氧物即指有机物。有时，需氧污染物中也有一些无机物，主要有Fe、Fe<sup>2+</sup>、S<sup>2-</sup>、CN<sup>-</sup>等。

食品与发酵工业废水中的有机物主要有动植物纤维、油脂、糖类、蛋白质、有机酸、各种添加剂、有机原料和废物等。有机物的种类繁多，组成复杂，很难一一分辨、逐一测定。在工程实际中，常采用以下几个综合水质污染指标来描述。

### 1. 生化需氧量（BOD）

在有氧条件下，利用微生物的活动降解废水中的有机物所需的氧量，称为生化需氧量（biochemical oxygen demand, BOD），一般用单位体积废水所消耗的氧量（mg/L）来表示。好氧生物降解示意图如图1-1所示。

图1-1表示有氧条件下，微生物好氧降解有机物的过程中对氧的需求情况。废水中有机物的分解一般可分为两个阶段。第一阶段也称碳化阶段，是有机物中的碳氧化为二氧化碳、氮氧化为氨的过程。该阶段消耗的氧量称为碳化需氧量，用 $L_a$ 或 $BOD_u$ 表示，其值等于 $O_a$ 和 $O_b$ 之和。第二阶段也称硝化阶段，在此阶段，氨在硝化细菌作用下被氧化为亚硝酸根和硝酸根。该阶段的耗氧量称为硝化需氧量，用

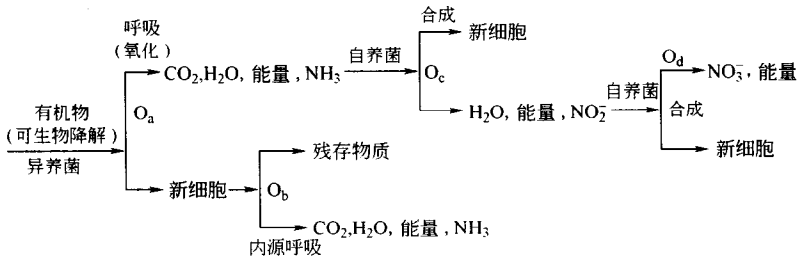


图 1-1 好氧生物降解示意图

1—假定有机物仅含 C、H、O、N 元素，P、S 等极少，未考虑；2—内源呼吸产生的氨的氧化和硝化菌内源呼吸消耗的氧未考虑

$L_N$  或  $BOD_u$  表示，其值等于  $O_c$  和  $O_d$  之和。

上述有机物的生化耗氧过程与温度和时间有关。在一定范围内，温度越高，微生物活力越强，消耗有机物的速度越快，需氧越多；时间越长，微生物降解有机物的数量和深度越大，需氧也越多。由于温带地区地面平均温度接近 20℃，故实际测定生化需氧量时将温度规定为 20℃。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，可视为完全生化需氧量  $L_a$ 。不过，在实际测定时，20 天的时间仍嫌太长，因此一般采用 5 天作为测定时间，称为  $BOD_5$ 。各种废水的水质差别很大，其  $BOD_{20}$  以及  $BOD_5$  相差悬殊，但对某一种废水而言二者的值还是相对稳定的，如生活污水的  $BOD_5$  约为  $BOD_{20}$  的 0.7 左右，因此人们常将 20℃ 下 5 天时所测定的  $BOD_5$  作为衡量废水有机物浓度的指标。该指标基本上反映了废水中能被微生物氧化分解的有机物的量，较为直接、确切地说明了问题，但仍存在一些缺点：①当污水中含有大量难生物降解的物质时， $BOD_5$  的测定误差较大；②反馈信息太慢，每次测定需 5 天，不能迅速、及时地指导实际工作；③废水中存在抑制微生物生长繁殖的物质或不含微生物生长所需的营养时，将影响测定结果。

## 2. 化学需氧量 (COD)

在酸性条件下，用强氧化剂将有机物氧化为  $CO_2$ 、 $H_2O$  时所需消耗的氧量称为化学需氧量 (chemical oxygen demand, COD)。氧化剂一般采用氧化作用很强的重铬酸钾，它能够较完全地氧化水中的大

部分有机物和无机性还原物质（但不包括硝化所需的氧量），此时的化学需氧量用  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  或  $\text{COD}$  表示。有时也采用高锰酸钾作为氧化剂，此时的化学需氧量则用  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  表示。

与  $\text{BOD}_5$  相比， $\text{COD}_{\text{Cr}}$  能够在较短的时间内（规定为 2h）较精确地测定出废水中耗氧物质的含量，且不受水质限制。缺点是不能表示可被微生物氧化的有机物量，废水中的还原性无机物被氧化剂氧化时也能消耗部分氧，从而造成测定结果的误差。

如果废水中各种成分相对稳定，那么  $\text{COD}$  与  $\text{BOD}$  之间应有一定的比例关系。一般说来， $\text{COD} > \text{BOD}_{20} > \text{BOD}_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。 $\text{BOD}_5 / \text{COD}$  的比值可作为衡量废水是否适合用生化法进行处理的一个指标。该比值越大，废水越容易被生化处理。一般认为， $\text{BOD}_5 / \text{COD}$  大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理法。

### 3. 总需氧量 (TOD)

有机物中的主要元素是 C、H、O、N、S 等。在高温下燃烧后，将分别产生  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$ ，燃烧过程中所消耗的氧量即称为总需氧量（total oxygen demand, TOD）。TOD 值一般大于 COD 值。

TOD 的测定仅需几分钟，具体测定方法如下：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在  $900^\circ\text{C}$  的高温下燃烧，水样中的有机物即被氧化，并消耗氧气流中的氧气，剩余氧量可用电极测定并自动记录。氧气流中的原有氧量减去剩余氧量即总需氧量。

### 4. 总有机碳 (TOC)

有机物都含有碳，通过测定废水中的总含碳量也可以表示有机物的含量。总有机碳（total organic carbon, TOC）的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在  $900^\circ\text{C}$  高温下燃烧，用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的  $\text{CO}_2$  量，再折算出其中的含碳量，就是总有机碳 TOC 值。为排除无机碳酸盐的干扰，应先将水样酸化，再通过压缩空气吹脱水中的碳酸盐。TOC 的测定时间也仅需几分钟。

### （三）营养性污染物

废水中所含的 N 和 P 是植物和微生物的主要营养物质。一般的

说, 水体中的总磷浓度应控制在  $0.1\text{mg/L}$  以内, 对非流动水体 (湖泊、水库) 的要求还要严些。当废水排入受纳水体, 使水中 N 和 P 的浓度分别超过  $0.2\text{mg/L}$  和  $0.02\text{mg/L}$  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, 刺激它们异常增殖, 从而会造成一系列的危害: ①随着藻类的增殖, 藻类占据的空间越来越大, 使鱼类活动空间越来越小; ②藻类的过度生长使水中溶解氧急剧减少, 破坏水体耗氧和复氧的平衡, 使水体处于严重缺氧状态, 造成鱼类死亡, 水体腐败发臭, 水质恶化; ③藻类种类逐渐减少, 从以硅藻和绿藻为主转为以迅速繁殖的蓝藻为主, 蓝藻不是鱼类的良好饲料, 有些蓝藻还会产生毒素, 危害水产资源; ④衰死藻类沉积水底, 使水体中的有机物量增加。

此外, 生活污水经普通生化法处理也会转化为无机 N 和 P, BOD、温度、维生素类物质也能促进和触发营养性污染。

废水生物处理工作中, 了解水样中的含氮量对于正确掌握微生物的营养配比、使处理过程正常运行, 以及控制好出水水质、防止水体遭到氮污染甚至引起富营养化十分重要。因此, 氮含量是目前废水水质分析中的一个重要指标, 还可以反映废水中有机物的数量。氮肥厂、洗毛厂、制革厂、造纸厂、印染厂、食品厂和饲养厂废水等是 N 的主要来源, 其中的氮有四种存在方式, 即有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮以及硝酸盐氮。生活污水中一般只有有机氮和氨氮, 而工业废水中还可能含有亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。

进行上述几种含氮物指标的测定时, 可通过总凯氏氮和氨氮之差间接定出有机氮, 还可通过总氮和总凯氏氮之差间接定出硝态氮, 必要时也可直接从水样中测定有机氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮。关于硝酸盐氮的测定, 直到现在还没有找到一个好的方法, 通常还是把硝酸盐氮还原成亚硝酸盐氮后进行测定; 而亚硝酸盐氮的测定现在通常采用重氮化偶合比色法, 此法简便快速, 灵敏度亦较高, 测量精度可达  $0.001\text{mg/L}$ 。

磷亦是有机物中的一种主要元素, 是仅次于氮的微生物生长的重要营养物质。因此, 有机物指标亦可用磷元素的含量来表示。在废水生物处理中, 碳、氮、磷营养元素的合理配比, 是促进微生物正常发育, 维持生物处理过程正常运转的重要条件。一般来说, 生活污水中

的磷营养源是足够的，不过有些工业废水可能缺少磷营养源，需要另加补充。

含磷化合物主要来自人体排泄物、含磷洗涤剂、磷肥厂以及某些含磷的工业废水，如马铃薯加工厂、骨粉厂、罐头食品厂、牲畜饲养场等排出的废水。废水中的含磷化合物分有机磷化合物和无机磷化合物两大类。有机磷化合物（如葡萄糖-6-磷酸、2-磷酸甘油酸、磷肌酸等）大多呈胶体和颗粒状形态，可溶性的只占30%左右；无机磷化合物主要是一些可溶性磷酸盐，如正磷酸盐（ $\text{PO}_4^{3-}$ ）、磷酸氢盐（ $\text{HPO}_4^{2-}$ ）、磷酸二氢盐（ $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ）、偏磷酸盐（ $\text{PO}_3^-$ ）等，以及聚合磷酸盐如焦磷酸盐（ $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ）、三磷酸盐（ $\text{P}_3\text{O}_{10}^{3-}$ ）、三磷酸氢盐（ $\text{HP}_3\text{O}_9^{2-}$ ）等。一般，生活污水中的含磷化合物为10mg/L左右，其中有机磷为3mg/L，无机磷为7mg/L。

废水中的一切含磷化合物都是先设法转化成正磷酸盐（ $\text{PO}_4^{3-}$ ）后再行测定，其结果即为总磷，并以此作为测磷的指标。目前常用测定方法的原理是利用磷钼酸盐遇还原剂氯化亚锡时可产生一种深蓝色络合物，根据颜色的深浅进行比色测定，即可得出总磷值，并以 $\text{PO}_4^{3-}$ 计量表示。

#### （四）酸碱污染物

酸碱污染物主要来自工业废水排放的酸碱以及酸雨。水质标准中以pH值来反映酸碱污染物的含量水平。

酸碱污染物可使水体的pH值发生变化，破坏自然缓冲作用，抑制微生物生长，妨碍水体自净，使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。各种生物都有自己生长的pH适应范围；超过该范围时就会影响其生存，例如，渔业水体的pH值不得低于6.0或高于9.2，当pH值下降到5.5时，一些鱼类就不能生存或生殖率下降；农业灌溉用水的pH值应为5.5~8.5。酸性废水还会对金属和混凝土材料造成腐蚀。

#### （五）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，并还在以每年500种的速度递增。因此，有毒污染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。废水中的有毒污染物可分为三大类：无机化学毒物、有机化学毒物和放射性物质。



### 1. 无机化学毒物

无机化学毒物包括金属和非金属毒物两类。金属毒物主要为汞、铬、铜、铅、锌、镍、钴、锰、钛、钒、铝和铋等，特别是前几种危害更大。例如，汞进入人体后被转化为甲基汞，甲基汞在脑组织内积累可破坏神经功能，且无法用药物治疗，严重时能造成死亡；铜中毒时可引起全身疼痛、腰关节受损、骨节变形，有时还会引起心血管病。

金属毒物具有以下特点：①不能被微生物降解，只能在各种形态间相互转化、分散，如无机汞能在微生物作用下转化为毒性更大的甲基汞；②毒性以离子态存在时最严重；③能被生物富集于体内，既危害生物，又通过食物链危害人体，如淡水鱼能将汞富集 1000 倍、铜富集 300 倍、铬富集 200 倍；④重金属进入人体后，能与蛋白质和酶等大分子生理活性物质发生作用，使其失去活性，也可在人体的某些器官中积累，造成慢性中毒，其危害有时需 10~20 年才能显露出来。金属离子在水中容易被带负电荷的胶体吸附，吸附金属离子的胶体可随水流迁移，但大多数会迅速沉降，因此重金属一般都富集在排污口下游一定范围内的底泥中。

重要的非金属毒物有砷、硒、氰、氟、硫、亚硝酸根等。例如，砷中毒时能引起中枢神经紊乱，诱发皮肤癌等；亚硝酸盐在人体内能与仲胺生成亚硝胺，具有强烈的致癌作用。

必须指出的是，许多毒物元素往往是生物体所必需的微量元素，只是在超过一定限值时才会致毒。

### 2. 有机化学毒物

这类毒物大多是人工合成有机物，难以被生化降解，并且大多是较强的三致（致癌、致突变、致畸）物质，毒性很大，主要有农药（DDT、有机氯、有机磷等）、酚类化合物、聚氯联苯、稠环芳烃（如苯并芘）、芳香族氨基化合物等。例如，有机氯农药具有很强的化学稳定性，在自然环境中的半衰期为十几年到几十年，它们可能通过食物链在人体内富集，危害人体健康；DDT 则能蓄积于鱼脂中，浓度可比水体中高 12500 倍。

### 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。放射性物质主要