

佟玉衡 编

实用 废水处理技术

化学工业出版社

X703
T835:1

实用废水处理技术

佟玉衡 编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

实用废水处理技术/佟玉衡编. —北京: 化学工业出版社, 1998. 10

ISBN 7-5025-2291-3

I. 实… II. 佟… III. 废水处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 20575 号

实用废水处理技术

佟玉衡 编

责任编辑: 陈 丽

责任校对: 顾淑云

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(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

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 9½ 字数 264 千字

1998 年 11 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 7 次印刷

ISBN 7-5025-2291-3/TQ · 1079

定 价: 17.00 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

前 言

《实用废水处理技术》是为从事废水处理操作和进行技术培训的广大技术工人、工程技术人员、管理干部而编写的。

根据化工部、劳动部颁发的《三废处理》职业技能鉴定规范的要求，本书比较系统地介绍了废水的性质、特征，废水处理的基本理论，废水的各种处理方法，主要废水处理设备的结构、特征，运行管理等内容，并有城市生活污水处理原理的内容介绍。本书是废水处理操作工进行职业技能鉴定培训、考核的必备参考书。

全书共有十七章，由长期从事废水处理技术工作的高级工程师佟玉衡编写。全书由董业广、刘勃安、王成荣等审阅。

编 者

1998. 8.

目 录

第一篇 概 论

第一章 废水概述	1
第一节 废水的性质及分类	1
第二节 废水中主要污染物质及其危害	3
第三节 废水水质指标	6
第二章 废水处理方法概述	12

第二篇 废水的物理处理法

第三章 重力分离	17
第一节 沉淀的基础理论	17
第二节 沉淀池	23
第三节 沉淀池的强化与改进	32
第四节 沉砂池	38
第五节 隔油池	41
第四章 筛滤与离心分离	45
第一节 格栅	45
第二节 滤网	48
第三节 滤池	50
第四节 离心分离	59
第五章 均和调节	63

第三篇 废水的化学处理法

第六章 中和	67
第一节 基本原理	67
第二节 酸性废水的中和处理	68
第三节 碱性废水的中和处理	75

第七章 混凝	77
第一节 混凝原理	77
第二节 混凝剂	81
第三节 混凝过程及设备	83
第四节 澄清池	88
第八章 其他化学处理法	96
第一节 电解	96
第二节 化学氧化	101
第三节 其他投药化学法	106

第四篇 废水的物理化学处理法

第九章 吸附	108
第一节 吸附的基本理论	108
第二节 吸附剂及吸附剂的解吸再生	109
第三节 吸附的操作与应用	112
第十章 离子交换	117
第一节 离子交换剂	117
第二节 离子交换基本理论	120
第三节 离子交换的工艺过程	123
第十一章 浮选	127
第一节 浮选剂	127
第二节 浮选流程及设备	128
第十二章 其他物理化学法	138
第一节 萃取	138
第二节 吹脱	144
第三节 汽提	146
第四节 膜分离法	149

第五篇 废水的生物处理法

第十三章 废水生物处理中的微生物	157
第一节 细菌	157
第二节 其他微生物	166
第十四章 活性污泥法	171

第一节	活性污泥法的基本原理	171
第二节	活性污泥法的运行方式	178
第三节	曝气方法与原理	182
第四节	曝气池的类型与构造	192
第五节	活性污泥法的运行管理	198
第六节	活性污泥法的发展	204
第十五章	生物膜法	211
第一节	生物滤池	211
第二节	生物转盘	224
第三节	生物膜法的运行管理	230
第四节	生物接触氧化	234
第十六章	氧化塘与灌溉	237

第六篇 污泥的处理与处置

第十七章	污泥的处理与处置	241
第一节	污泥的性质与排除	242
第二节	污泥浓缩	246
第三节	污泥消化原理	250
第四节	消化池的构造与运行方式	256
第五节	消化池的运行管理	262
第六节	污泥脱水与干化	265
第七节	污泥的干燥与焚烧	278
第八节	污泥的最终处置与利用	284
附录		286
一、污水综合排放标准 (摘自 GB 8978—88)		286
二、地面水环境质量标准		287
三、生活饮用水水质标准		289
四、农田灌溉水质标准		290
主要参考书目		292

第一篇 概 述

第一章 废水概述

第一节 废水的性质及分类

一、废水

水是自然界中宝贵的自然资源，是人类赖以生存的必要条件。然而，在人类的生产和生活活动中，从自然界中取用的水受到污染，改变了原来的性质，甚至丧失了使用价值，于是将其废弃外排，这种被废弃外排的水称为废水。导致取用水丧失使用价值的基本原因是水中混进了各种污染物。

在实际应用中，“废水”和“污水”两个术语的用法比较混乱。就科学概念而言，“废水”是指废弃外排的水，强调其“废弃”的一面；“污水”是指被脏物污染的水，强调其“脏污”的一面。但是，有相当数量的生产排水是并不脏的（如冷却水等），因而用“废水”一词统称所有的废水比较合适。在水质污浊的情况下，两种术语可以通用。

二、废水的性质

废水造成的污染危害，以及应采取的防治措施，都取决于废水的特性，即污染物的种类、性质和浓度。废水的水质特征，不单依废水的类别而异，而且因时因地而异。

表 1-1 列举了我国生活污水的水质资料，其中最主要的两项污染指标是悬浮物和生化需氧量，其浓度范围分别为 $100\sim 350\text{mg/L}$ 和 $100\sim 400\text{mg/L}$ 。各种工业废水的主要污染指标也用悬浮物和生化需氧量表示，但其浓度却相差悬殊。例如，水果罐头废水的悬浮物变化于 $250\sim 3500\text{mg/L}$ 之间，而人造纤维废水却只有 $50\sim 200\text{mg/L}$ ；蔬菜罐

头废水的生化需氧量为 100~6800mg/L,而板纸废水的生化需氧量却只有 50~200mg/L。表 1-2 和表 1-3 列举了两种工业废水的水质分析资料,可以看出,除悬浮物和生化需氧量外,有毒污染物、感官污染物和酸碱污染物的出现,是其重要特征。

表 1-1 我国生活污水水质 (mg/L)

项 目	北 京	上 海	西 安	武 汉
悬浮物	50~327	320.7	—	66~330
耗氧量	30~88	—	—	52~64
BOD ₅	90~180	360	—	320~338
氨氮	25~45	47.1	21.7~32.5	15~59.3
氯化物	124~128	141.5	80~105	—
磷	30~34.6	—	—	—
钾	17.7~22	—	—	—
pH 值	7.35~7.7	7.31	7.30~7.85	7.1~7.6

表 1-2 电镀废水水质 (mg/L)

项 目	含 铬 废 水	含 氰 废 水	混合电镀废水
悬浮物	—	300	—
硫酸	200~300	—	—
Cr (六价)	5~45	60	0~49
Cu	0.2~0.4	—	2~36
Zn	—	350	0.2~10
Cd	1	—	0.5~4
Ni	1~2	—	5~58
Pb	0.5~1	—	—
Al	12	—	—
CN	—	10~40	1~103
pH 值	2~3	3.5~9	—

表 1-3 印染废水水质 (mg/L)

项 目	棉 布	人造纤维	项 目	棉 布	人造纤维
色度 (倍)	200	543	总硫化物	11	2.3
悬浮物	109	1064	酚	0.06	0.04
总固体	1410	3383	氰化物	0.01	0.13
耗氧量	218	215	苯胺	0.16	0.001
BOD ₅	240	297	铬 (六价)	0.04	0.04
COD	717	1201	pH 值	9~10	6~8

三、废水分类

根据废水的来源，可将其分为生活污水和工业废水两大类。生活污水是指人们生活过程中排出的废水，主要包括粪便水、浴洗水、洗涤水和冲洗水等；工业废水是指工业生产中排出的废水。此外，由城镇排出的废水，叫做城市废水，其中包括生活污水和工业废水。

根据废水中的主要成分，可分为有机废水、无机废水和综合废水。有机废水是指废水中污染物主要是有机物质；无机废水一般以无机污染物为主；综合废水是指废水中含有机污染物，也含无机污染物，并且两者含量都很高。

废水中如果某一种成分在污染物中占首要地位，则常常以该成分取名，如含酚废水、含氰废水、含氮废水、含汞废水等。

根据废水的酸碱性，也可将废水分为酸性废水、碱性废水和中性废水。

此外，还可以根据产生废水的工业部门或生产工艺来取名。如，焦化废水、电镀废水、造纸废水、化工废水、印染废水、农药废水、冷却废水等。

第二节 废水中主要污染物质及其危害

废水中的污染物质种类较多。根据废水对环境污染所造成危害的不同，可把污染物划分为固体污染物、有机污染物、油类污染物、有毒污染物、生物污染物、酸碱污染物、营养物质污染物及感官污染物等。

一、固体污染物

水中固体污染物质的存在形态有悬浮状态、胶体状态和溶解状态三种。呈悬浮状态的物质通常称为悬浮物，是指粒径大于 100nm 的杂质，这种杂质造成水质显著混浊。其中颗粒较重的多数是泥砂类的无机物，以悬浮状态存在于水中，在静置时会自行沉降。颗粒较轻的多为动植物腐败而产生的有机物质，浮在水面上。悬浮物还包括浮游生物（如蓝藻类、硅藻类）及微生物。

所谓胶体状态的物质是指粒径大致在 1~100nm 之间的杂质。胶

体杂质多数是粘土性无机胶体和高分子有机胶体。高分子有机胶体是分子量很大的物质，一般是水中的植物残骸经过腐烂分解的产物，如腐殖酸、腐殖质等。粘土性无机胶体则是造成水质混浊的主要原因。胶体杂质具有两种特性，一种是由于单位容积中胶体的总面积很大，因而吸附大量离子而带有电性，使胶体之间产生电性斥力而不能互相粘结，颗粒始终稳定在微粒状态而不能自行下沉。另一种是由于光线照射到胶体上被散射而导致混浊现象。

呈溶解状态的物质，其粒径大约在 1nm 以下，主要以低分子或离子状态存在。这种杂质不会产生水的外表混浊现象。例如，食盐溶于水，水仍然是透明的。低分子物质主要有有机酸、有机碱、氨基酸和碳水化合物等。呈离子状态的主要有阳离子 H^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Al^{3+} 、 NH_4^+ 等和阴离子 OH^- 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等。

水中固体污染物质主要是指固体悬浮物。大量悬浮物排入水体，造成外观恶化、混浊度升高，改变水的颜色。悬浮物沉于河底淤积河道，危害水体底栖生物的繁殖，影响渔业生产；沉积于灌溉的农田，则会堵塞土壤孔隙，影响通风，不利于作物生长。

二、有机污染物

这里的有机污染物是指以碳水化合物、蛋白质、氨基酸以及脂肪等形式存在的天然有机物质及某些其他可生物降解的人工合成有机物质。这些有机物质主要来自生活污水和一部分工业废水。

有机污染物排入水体后，使水体中的物质组成发生变化，破坏了原有的物质平衡。同时，它们也参与水体中的物质转化和循环过程，通过一系列物理、化学、物理化学和生物化学反应而被分离或分解，使水体基本或完全恢复到原来的状态，即原有的生态平衡得到恢复。这个过程就是水体自净。地面水体对有机物有一定的自净能力，废水排入水体后，如果水中有充足的溶解氧，而且还能够不断地从大气中得到补充，使溶解氧量保持在一定水平以上，说明进入水体的有机污染物没有超过水体的自净能力。这时有机物在水体中进行的是好氧分解。

如果排入水体的有机污染物过多，大量消耗了水中的溶解氧，从

大气补充的氧也不敷需要，这说明排入的有机污染物超过了水体的自净能力，水体将出现由于缺氧而产生的一些现象。当溶解氧长期处于4~5mg/L以下时，一般的鱼类就不能生存，如果完全缺氧，有机污染物将转入厌氧分解，产生硫化氢、甲烷等还原性气体，使水中动植物大量死亡，而且可使水体变黑变混，发生恶臭，严重恶化环境。

三、油类污染物

油类污染物主要来自含油废水。水体含油达0.01mg/L即可使鱼肉带有特殊气味而不能食用。含油稍多时，在水面上形成油膜，使大气与水面隔绝，破坏正常的充氧条件，导致水体缺氧；油膜还能附在鱼鳃上，使鱼类呼吸困难，甚至窒息死亡；当鱼类产卵期，在含油废水的水域中孵化的鱼苗，多数产生畸形，生命力低弱，易于死亡。含油污染物对植物也有影响，妨碍通气和光合作用，使水稻、蔬菜减产，甚至绝收。

含有石油的废水进入海洋后，造成的危害是很明显的，不仅影响海洋生物的生长，降低海洋的自净能力，而且影响海滨环境。

四、有毒污染物

废水中的有毒污染物主要有无机化学毒物、有机化学毒物和放射性物质。

无机化学毒物主要是指重金属及其化合物。重金属元素不易或完全不能生物降解，大多数重金属离子及其化合物易于被水中悬浮颗粒所吸附而沉淀于水底的沉积层中，长期污染水体。某些重金属及其化合物能在鱼类及其他水生生物体内以及农作物组织内累积、富集而造成危害。人通过饮水及食物链的作用，使重金属物质在体内累积富集而中毒，甚至导致死亡。

有机化学毒物，主要是指酚、苯、硝基物、有机农药、多氯联苯、多环芳烃、合成洗涤剂等。这些物质具有较强的毒性。如多氯联苯具有亲脂性，易溶于脂肪与油中，可能致癌，多环芳烃是致癌物质。

放射性物质是指具有放射性核素的物质。这类物质通过自身的衰变可放射出 α 、 β 、 γ 等射线。放射性物质进入人体后会继续放出射线，危害机体，使人患贫血、恶性肿瘤等疾病。

五、生物污染物

生物污染物是指废水中含有的致病性微生物。废水及生活污水中含有许多微生物，大部分是无害的，但其中也可能含有对人体与牲畜有害的病原菌，例如，制革厂废水中常含有炭疽菌，医院污水中含有病原菌、病毒等。生活污水中含有能引起肠道系统疾病的细菌和寄生虫卵等。

六、酸碱污染物

酸碱污染物是指废水中含有的酸性污染物和碱性污染物。酸碱物质具有较强的腐蚀性，可以腐蚀管道和构筑物；排入水体会改变水体的pH值，干扰水体自净，并影响水生生物的生长和渔业生产；排入农田会改变土壤的性质，使土地酸化或盐碱化，危害农作物。

七、营养物质污染物

这里的营养物质是指氮、磷。在人类活动的影响下，生物所需的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流水体，引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖，水体溶解氧量下降，水质恶化，鱼类及其他生物大量死亡。这种现象称为富营养化。水体出现富营养化时，浮游生物大量繁殖，因占优势的浮游生物的颜色不同，水面往往呈现蓝色、红色、棕色、乳白色等。这种现象在江河湖泊中称为水华，在海中则叫作赤潮。

八、感官污染物

感官污染物是指废水中能引起人们感官上不愉快的污染现象者，如使水质产生混浊、恶臭、异味、颜色、泡沫等。

九、热污染

有些废水水温较高，当排入水体后，会造成水体的热污染，使水中溶解氧降低，危害水生生物生长甚至导致其死亡。

第三节 废水水质指标

水质指标是对水体进行监测、评价、利用以及污染治理的主要依据。在考虑和研究污水处理流程和其最终处置方法时，首要的条件是全面掌握废水在物理、化学和生物学等方面的特征。为此，必须对废

水按规定指标进行全面的分析监测。此外，在废水处理装置的运行管理中，为了控制和掌握废水处理装置的工作状态和处理效果，也必须定期对处理过程中的废水按一定的指标进行监测。

水质的分析监测应按国家规定的标准进行。

水质指标可以概括分为物理指标、化学指标和生物指标。

一、物理指标

1. 固体物质

废水中的固体物质包括悬浮固体和溶解固体两类。悬浮固体是指悬浮于水中的固体物质。在水质分析中，将水样过滤，凡不能通过滤器的固体颗粒物称为悬浮固体。悬浮固体也称悬浮物质或悬浮物，通常用 SS 表示，是反映废水中固体物质含量的一个常用重要水质指标，单位 mg/L 。

溶解固体也称溶解物，是指溶于水的各种无机物质和有机物质的总和。在水质分析中，是指将水样过滤后，将滤液蒸干所得到的固体物质。

溶解固体与悬浮固体两者之和称为总固体。在水质分析中，总固体是将水样在一定温度下蒸干后所残余的固体物质总量，也称蒸发残余物。

2. 浊度

水中含有泥土、粉砂、微细有机物、无机物、浮游生物等悬浮物和胶体物都可以使水体变得混浊而呈现一定浊度。浊度是在外观上判断水是否被污染的主要特征之一。在水质分析中规定：1L 水中含有 1mg SiO_2 所构成的浊度为一个标准浊度单位，简称 1 度。

3. 臭和味

臭和味是判断水质优劣的感官指标之一。洁净的水是没有气味的，受到污染后会产生各种臭味。常见的水臭味有霉烂臭味、粪便臭味、汽油臭味、臭蛋味、氯气味等。臭味的表示方法现行是用文字描述臭的种类，用强、弱等字样表示臭的强度。比较准确的定量方法是臭阈法，即用无臭水将待测水样稀释到接近无臭程度的稀释倍数表示臭的强度。

4. 温度

温度也是一项重要指标。水温的变化对废水生物处理有很大影响,水温通常用刻度为 0.1°C 的温度计测定。深水可用倒置温度计。用热敏电阻温度计能快速而准确测定温度。水温要在现场测定。

5. 色泽和色度

色泽是指废水的颜色种类,通常用文字描述,如:废水呈深蓝色、棕黄色、浅绿色、暗红色等。

色度是指废水所呈现的颜色深浅程度。色度有两种表示方法:一是采用铂钴标准比色法,规定在 1L 水中含有氯铂酸钾 (K_2PtCl_6) 2.491mg 及氯化钴 ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 2.00mg 时,也就是在 1L 水中含铂 (Pt) 1mg 及钴 (Co) 0.5mg 时所产生的颜色深浅为 1 度 (1°);二是采用稀释倍数法,将废水按一定的稀释倍数,用水稀释到接近无色时的稀释倍数。

6. 电导率

水中存在离子会产生导电现象。电导是电阻的倒数。单位距离上的电导称为电导率。电导率表示水中电离性物质的总数,间接表示了水中溶解盐的含量。电导率的大小同溶于水中的物质浓度、活度和温度有关。电导率用 K 表示,单位为 S/cm 或 $1/(\Omega \cdot \text{cm})$ 。

二、化学指标

1. 生化需氧量

生化需氧量(全称生物化学需氧量,习惯上用英文缩写“BOD”表示)是指在温度、时间都一定的条件下,微生物在分解、氧化水中有机物的过程中,所消耗的溶解氧量,其单位为 mg/L 或 kg/m^3 。

微生物在分解有机物过程中,分解作用的速度和程度与温度和时间有直接关系。有机物在好氧微生物的作用下降解并转化为 CO_2 、 H_2O 及 NH_3 的过程,在 20°C 条件下,一般需要 10~20 天才能完成。为了使测定的 BOD 值有可比性,在水质分析中,规定将水样在 20°C 条件下,培养五天后测定水中溶解氧消耗量作为标准方法,测定结果称为五日生化需氧量,以 BOD_5 表示。如果测定时间是 20 天,则结果称作 20 天生化需氧量(也称完全生化需氧量),以 BOD_{20} 表示。生活污水的

BOD₅ 约为 BOD₂₀ 的 70% 左右。BOD 反映了水中可被微生物分解的有机物总量。BOD 值越大，则说明水中有机物含量越高，所以，BOD 是反映水中有机物含量的最主要水质指标。BOD 小于 1mg/L 表示水体清洁，大于 3~4mg/L 则表示水已受到有机物的污染。

2. 化学需氧量

化学需氧量（也称化学耗氧量，习惯上用英文缩写“COD”表示）是指在一定条件下，用强氧化剂氧化废水中的有机物质所消耗的氧量。常用的氧化剂有重铬酸钾和高锰酸钾。我国规定的废水检验标准采用重铬酸钾作为氧化剂，在酸性条件下进行测定。所以有时记作“COD_{Cr}”，单位为 mg/L。

测定 COD 采用的是强氧化剂，对大多数的有机物可以氧化到 85%~95% 以上，所以，同一种水质的 COD 一般高于 BOD，其间的差值能够粗略地表示不能为微生物所降解的有机物。如果废水中的有机物的数量和组成相对稳定，则两者之间可能有一定的比例关系，可以互相推算求定。生活污水的 BOD 与 COD 的比值大致为 0.4~0.8 范围。对于一定的废水而言，一般说来， $COD > BOD_{20} > BOD_5$ 。

化学需氧量的测定方法简便、速度快，而且不受水质限制，因此是一项重要的水质指标。

3. 总需氧量

总需氧量（英文缩写 TOD）是指在特殊的燃烧器中，以铂为催化剂，在 900℃ 温度下使一定量水样汽化，其中有机物燃烧。再测定气体载体中氧的减少量，作为有机物完全氧化所需要的氧量。此指标的测定，与 BOD、COD 的测定相比，更为快速简便，其结果也比 COD 更接近于理论需氧量。

4. 总有机碳

总有机碳（英文缩写 TOC）的测定方法与上述 TOD 的测定类似，是用燃烧法测定水样中总有机碳元素量，来反映水中有机物总量。

5. 有机氮

有机氮是反映水中蛋白质、氨基酸、尿素等含氮有机物总量的一个水质指标。若使有机氮在有氧的条件下进行生物氧化，可逐步分解

为 NH_3 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 等形态， NH_3 和 NH_4^+ 称为氨氮， NO_2^- 称为亚硝酸氮， NO_3^- 称为硝酸氮，这几种形态的含量均可作为水质指标，分别代表有机氮转化为无机物的各个不同阶段。总氮（TN）则是一个包括从有机氮到硝酸氮等全部含量的水质指标。

6. pH 值

pH 值是指水中氢离子浓度的大小，在数值上等于氢离子浓度的负对数，即

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = \lg \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

pH 值是废水的重要水质指标之一。废水呈酸性或呈碱性，一般都是用 pH 值来表示。当 pH 值 = 7 时，水呈中性；当 pH 值 < 7 时，水呈酸性；当 pH 值 > 7 时，水呈碱性。pH 值的测定通常根据电化学原理采用玻璃电极法，也可以用比色法。

应该指出，pH 值不是一个定量的指标，不能说明废水中呈酸性（或呈碱性）的物质的数量。

7. 有毒物质

有毒物质是指废水中含有的某些物质在达到一定的浓度后，能够危害人体健康、危害水体中的水生生物，或者影响废水的生物处理等。特别是第一类，是人们所普遍关切的。有毒物质可分为无机毒物和有机毒物。对人体健康危害较大的有毒物质有氰化物、甲基汞、砷化物、镉、铅、六价铬等，现分别简述如下。

（1）氰化物 氰化物主要有氢氰酸（HCN）和氰酸盐（如氰化钾），是常见的污染物质之一，氰氢酸的毒效极快，对人的经口致死量为 0.05~0.12g。进入水体，对鱼类有很大的威胁。

（2）汞 汞是重要的污染物质之一。汞进入水体后，易沉于水底，长期存留，并在厌氧微生物的作用下甲基化，通过藻类→鱼类食物链逐渐富集，能使鱼类的含汞量达到很高的程度。如在日本的水俣湾，甲壳类含汞量达 27~102mg/kg，鱼类含汞量为 10~20mg/kg，最高可达 50mg/kg。

当人体内汞含量达到 20~30mg 时就会出现中毒症状。