



FEISHUI CHULIGONG PEIXUN JIAOCAI

废水处理工 培训教材

严进 金文斌 编



化学工业出版社



FEISHUI CHULIGONG PEIXUN JIAOCAI

废水处理工 培训教材



www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网

ISBN 978-7-122-03860-9



9 787122 038609 >

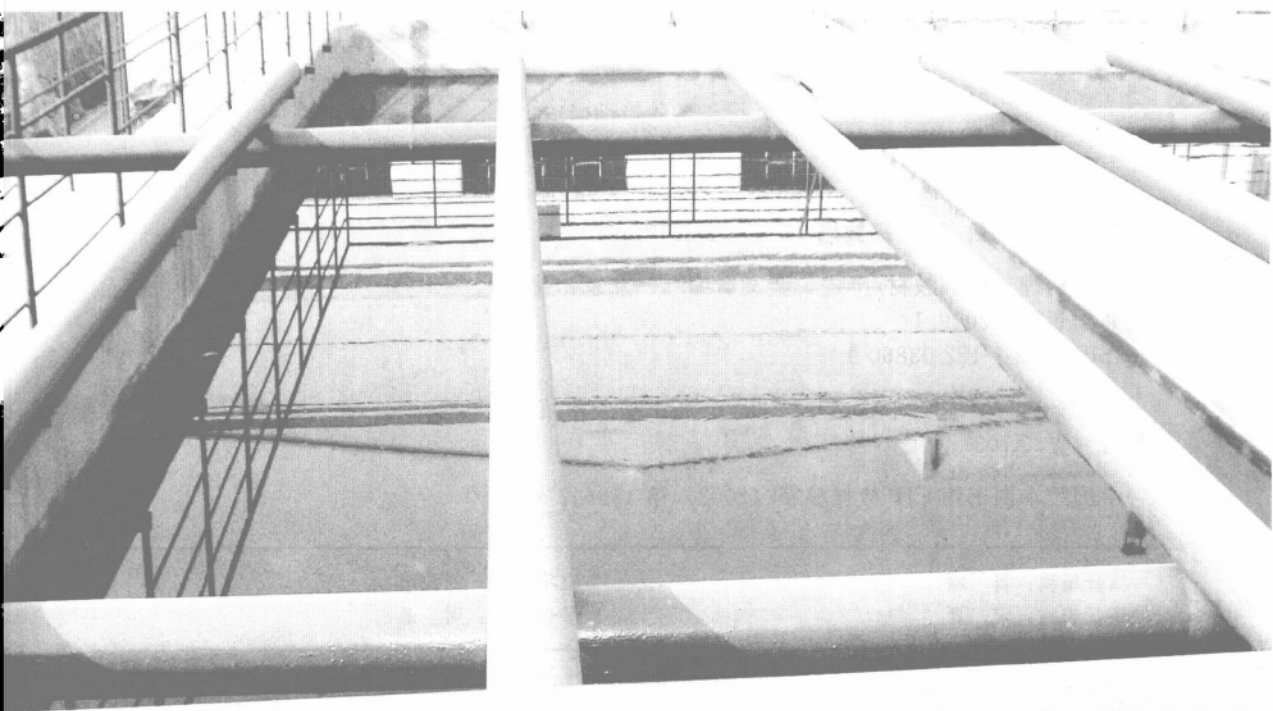
定价：28.00元



FEISHUI CHULIGONG PEIXUN JIAOCAI

废水处理工 培训教材

严进 金文斌 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材力求满足各个行业从事废水处理人员培训要求,在介绍废水处理基本知识的基础上,着重介绍废水处理过程中遇到的各种问题和解决办法。本教材编写时对水污染控制技术的基本概念和机理由浅入深,循序渐进,力求简明,注重实效,具有较强的实用性和可操作性。

本教材可作为废水处理岗位从业人员培训用书,也可供高等职业技术学院环境类专业使用,还可供污染治理企业管理岗位技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

废水处理工培训教材/严进,金文斌编. —北京:化学工业出版社,2009.1

ISBN 978-7-122-03860-9

I. 废… II. ①严…②金… III. 废水处理-技术培训-教材 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 158447 号

责任编辑:窦 臻
责任校对:宋 夏

文字编辑:刘莉珺
装帧设计:周 遥

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:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 334 千字 2009 年 1 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:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

环境问题是当代人类关注的全球性问题，随着现代工业生产的迅速发展，对环境污染实施有效控制已变得越来越重要和紧迫，为满足社会对环境专门人才，特别是具有从事废水处理与监测工作的综合职业能力，在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者的需要，根据编者多年来从事废水处理工培训经验的基础上编写了本教材。全书共分六章：前五章在介绍水污染及其治理基本概念的基础上，分别系统阐述了废水的物理、化学、物理化学和生物处理。第六章则介绍了废水处理过程中常规项目的测定。在附录中给出了污水综合排放标准和水质分析方法标准。

本教材充分考虑废水处理岗位从业人员和高等职业院校环境类专业学生对培训教材的需求，在内容上力求做到理论与技术相结合，理论与实际相结合，突出了技能培养，在介绍废水处理基本知识的基础上着重介绍废水处理过程中遇到的问题和解决方法，尽可能回答生产实践中经常遇到的种种问题，并附有较多插图。本教材可作为废水处理岗位从业人员培训用书，也可供高等职业院校环境类专业使用，还可供污染治理企业管理岗位技术人员参考。

书稿在编写过程中参考借鉴了大量国内高校教材及专业科技文献资料（参考文献列于书后），在此谨向有关作者表示衷心的感谢。限于编者水平，教材中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

第一章 水污染及其治理的基本概念	1
第一节 水资源与水资源危机	1
一、水资源	1
二、水体污染	2
第二节 水体污染及废水水质指标	3
一、水体污染来源	3
二、水体污染物种类及其危害	4
三、废水水质指标	9
第三节 废水处理技术概述	14
一、废水处理及废水处理的内容	14
二、废水处理的分类与基本方法	15
三、废水处理方案的选择	18
四、水污染的综合防治	20
第二章 废水的物理处理法	22
第一节 格栅和筛网	22
一、格栅和筛网	22
二、筛余物的处置	23
三、格栅及筛网运行管理注意事项	24
第二节 水质和水量调节	24
一、水质和水量调节的作用	24
二、水量调节	25
三、水质调节	26
四、调节池运行维护注意事项	27
第三节 隔油	27
一、废水中的油品的存在状态	27
二、隔油池	27
第四节 沉淀与沉砂	29
一、沉淀	29
二、沉砂	35
第三章 废水的化学处理法	38
第一节 化学氧化还原	38
一、化学氧化法	39
二、化学还原法	45

第二节 中和	47
一、废水的中和处理	47
二、酸性废水的中和处理	47
三、碱性废水的中和处理	50
四、中和反应槽之维护检查项目	51
第三节 化学沉淀	51
一、化学沉淀法基本原理	52
二、沉淀法在废水处理中应用	52
三、沉淀池构造与相关参数	55
四、沉淀池异常原因与解决对策	56
五、化学沉淀法运行管理时应注意的事项	57
第四节 混凝	57
一、混凝剂与助凝剂	57
二、影响混凝效果的因素	60
三、混凝工艺过程及设备	62
四、澄清池的特点、类型与应用	64
五、混凝处理中的注意事项与常见故障及处理方法	65
第四章 废水的物理化学处理	67
第一节 气浮	67
一、加压溶气气浮	67
二、加压溶气气浮法的主要设备	69
三、加压溶气气浮设备的运行管理	71
第二节 吸附	71
一、吸附法的基本概念和原理	72
二、吸附剂	72
三、吸附剂再生	74
四、影响吸附的条件	74
五、吸附设备	75
六、吸附操作方式	76
七、活性炭的投加、排出及输送	77
八、吸附法处理废水应用实例	77
第三节 电解	78
一、基本原理	78
二、电解在废水处理中的应用	78
三、电解槽	80
四、微电解	80
第五章 废水的生物处理	83
第一节 废水生化处理的基本理论	83
一、微生物的新陈代谢与生化处理法	83
二、微生物生长的影响因素	86

三、微生物的生长规律	88
四、废水可生化性	89
第二节 活性污泥法	91
一、活性污泥	91
二、活性污泥法的基本流程	93
三、活性污泥处理系统的控制指标	94
四、活性污泥法处理设备	98
五、活性污泥法的运行方式	103
六、影响活性污泥净化废水的因素	110
七、活性污泥法的运行与管理	110
第三节 生物膜法	115
一、生物膜法的基本概念与原理	115
二、生物滤池	117
三、塔式生物滤池	121
四、生物转盘	122
五、生物接触氧化法	124
六、生物膜法的运行管理	126
第四节 厌氧生物处理法	130
一、厌氧生物处理的基本原理	131
二、厌氧生物处理的影响因素	132
三、普通厌氧消化池	135
四、厌氧接触法	137
五、上流式厌氧污泥床反应器	138
六、厌氧生物滤池	141
七、厌氧流化床	142
八、厌氧设备的运行管理	142
九、厌氧和好氧技术的组合工艺简介	143
第五节 污泥处理	144
一、污泥的分类和性质	145
二、污泥的性质指标	145
三、污泥浓缩	146
四、污泥的消化稳定	149
五、污泥的机械脱水	150
六、污泥的自然干化	153
第六章 废水处理过程中常规项目的测定	154
第一节 废水水质分析的基本方法	154
一、废水水质分析基本方法	154
二、分析用水及分析试剂	161
三、溶液的配制	163
四、废水水质分析结果的表示方法	164

第二节 废水水样的采集、保存和预处理·····	164
一、采样布点·····	165
二、采样时间、频率及采样量·····	165
三、采样设备和采样方法·····	166
第三节 玻璃仪器与天平的使用·····	168
一、滴定分析仪器的使用·····	168
二、玻璃仪器的洗涤与干燥·····	173
三、容量仪器的校准·····	175
四、台秤及电子天平的使用·····	176
第四节 废水水质测定简介·····	178
一、物理性质的检验·····	178
二、废水中金属化合物的测定·····	180
三、废水中非金属化合物的测定·····	182
第五节 废水处理过程中常规项目的测定方法·····	183
一、废水悬浮固体和浊度的测定·····	183
二、废水水样 pH 值的测定·····	185
三、废水中溶解氧的测定·····	186
四、化学需氧量 (COD) 的测定·····	188
五、生化需氧量 (BOD ₅) 的测定·····	190
六、废水中氨氮的测定·····	193
七、废水中挥发酚类的测定·····	195
八、活性污泥性质的测定·····	197
九、活性污泥及生物膜生物相的观察·····	199
附录一 污水综合排放标准 (摘自 GB 8978—1996)·····	202
附录二 水质分析方法标准一览表·····	206
参考文献·····	209

第一章

水污染及其治理的基本概念

第一节 水资源与水资源危机

水分子是两个氢原子和一个氧原子所组成，它以水蒸气、液态水和固体的冰三种状态存在。在地球生命起源中水起着关键作用，它是生物（植物，动物）的重要组成部分，人体体重的 $\frac{2}{3}$ 是水，它是所有生物新陈代谢的介质。可以说没有水就没有生命，没有水就没有人类的文明。

一、水资源

水是极其宝贵的自然资源，它是人类生产和生活活动中不可缺少的物质，也是一种不可替代的宝贵资源，它又是地球上一切生物赖以生存的物质基础。

地球水圈中各个环节和各种形态的水都称为水资源，全球总储量为 $1.36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ （136 亿亿立方米），其中海水占 97.3%，淡水占 2.7%。淡水中 77.1% 以冰的形式存在于两极、冰川、高山积雪中；地下水、地壤水 22.4%；湖泊、沼泽 0.35%；河流水 0.11%；大气水 0.04%。能供开发利用的仅是地下水、地壤水、淡水湖泊、河流水，总共只有 $0.42 \times 10^{18} \text{ m}^3$ （42 亿亿立方米），占地球总水量的 0.3%。能参与全球循环可以得到恢复和更新的淡水资源只有 120 万亿立方米，占不到总储量的万分之一，从这个角度来看，水是十分短缺的自然资源。

我国水资源总储量为 2.8 万亿立方米，居世界第 6 位，但按人均只有 2250 立方米，排世界第 88 位。人均占有量相当于世界人均的 $\frac{1}{4}$ ，相当于加拿大人均的 $\frac{1}{50}$ 。中国水资源河流径流量 2.61 万亿立方米；地下水约 8000 亿立方米。当前全国每年缺水 350 亿立方米，每天缺水 800 万立方米，影响工业产值 1200 亿元/年。全国 660 个大中城市有 300 多个城市缺水，日缺水 16×10^6 立方米，至 21 世纪初城市日缺水量 $55 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，全国缺水量 500 亿立方米。为了解决缺水需投资 1200 亿元。水资源是有限的，中国被列为全球最贫水 12 个国家的前列。

从整体上看，全球的总水量是平衡的。地表水、地下水、大气含水和生物水都可以循环或补给，是一个紧密联系、相互作用的整体。但是由于不同地区外界条件的差异，水资源在时间和空间上的分布又是很不均匀的。若以年降水量 400mm 划分，我国有一半国土处于干旱、半干旱地区。占地面积 50% 的北方只有 10% 的地表径流和 30% 的地下径流，致使北方地区水资源严重不足，华北地区是我国经济、政治、文化中心地区，面积占全国的 4%，而



图 1-1 国家节水标志

水资源只占全国总量的 1%。特别是海河流域水资源相当贫乏，人均占有量只为全国人均占有量的 1/9。因此，水并不是“取之不尽，用之不竭”的自然资源。节约用水、造福人类，利在当代、功在千秋。图 1-1 是我国的节水标志。

二、水体污染

水体是指河流、湖泊、池塘、水库、沼泽、海洋以及地下水等水的聚积体。水体不仅包括水本身，还包括了水中的悬浮物、溶解物质、胶体物质、底质（泥）和水生物等。应把它看

作是完整的生态系统或完整的自然综合体。

自然环境是一个动态平衡体系，它对其中各种物质的变化具有一定的自动调节能力，经过体系内部一系列的连锁反应和相互作用，又会建立起新的平衡。水体也有这种在一定程度下能自身调节和降低污染的能力，通常称之为水体的自净能力。但是，当进入水体的外来杂质含量超过了这种水体自净能力时，就会使水质恶化，对人类环境和水的利用产生不良影响这就是水的污染。

1984 年颁布的《中华人民共和国水污染防治法》中为“水污染”下了明确的定义，即水体因某种物质的介入，而导致其化学、物理、生物或者放射性等方面特性的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康，或者破坏生态环境，造成水质恶化的现象。造成水体污染的因素有两种，一是自然因素，二是人为因素。

人们的生产活动和生活活动都会产生大量的废水，这些未经处理的废水排入受纳水体或土壤，会造成地表水和地下水的污染，严重时使得水体完全不能利用，这是许多地区严重缺水的最主要因素。污染最严重的地区，也往往是严重缺水的地区，水资源危机的解决是我国目前面临的一项十分重要而艰巨的任务。

全球 65 亿人中有 10 多亿人得不到清洁饮用水，人类所患疾病 80% 是由于饮用不清洁的水所引起的。世界水污染事件也不断发生，例如在 1953~1964 年，日本九州水俣市发生的水俣病，就是因化工厂排水含汞（甲基氯化汞 CH_3HgCl ），富集于鱼、贝类体内，人吃后中毒，引起神经中枢功能失调、四肢萎缩、精神失常等症状，前后死亡人数达 1000 多人；再如 1854 年英国伦敦因粪便污染水源，霍乱大流行，死亡数万人。日趋加剧的水污染，已对人类的生存安全构成了重大威胁，每年因饮用不卫生的水至少造成全球 2000 万人死亡，水污染被称做“世界头号杀手”。

我国水环境状况也不容乐观，据 2006 年国家环保总局（现为国家环保部）发布的 2006 年中国环境状况公报表明：2006 年中国七大重点流域地表水有机污染普遍，各流域干流有 46% 的断面满足Ⅲ类水质要求，28% 为Ⅳ、Ⅴ类水，36% 属劣Ⅴ类水，主要湖泊富营养化明显。

2006 年，全国工业和城市生活污水排放总量为 537.0 亿吨，其中工业废水 239.5 亿吨，城市生活污水排放量 297.5 亿吨。废水中 COD 排放量 1428.2 万吨。

2006 年 3 月 14 日，十届人大四次会议批准《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》，确定“十一五”期间全国主要污染物排放总量减少 10%。2006 年 8 月 5 日，国务院批复《“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划》，到 2010 年，全国主要污染物排放总量比 2005 年减少 10%，化学需氧量由 1414 万吨减少到 1273 万吨；二氧化硫由 2549 万吨

减少到 2294 万吨。各省（自治区、直辖市）化学需氧量和二氧化硫分省（自治区、直辖市）排放总量控制指标均不得突破。

人类解决水问题的有效途径，就是节约用水、清洁生产 and 废水的综合治理，其中废水的治理水平和利用程度将成为 21 世纪社会发展和社会文明的重要指标。

第二节 水体污染及废水水质指标

一、水体污染来源

人们在日常生产和生活活动中会排出大量废水及其他污染物，它们排入水体后使水体中污染物含量超过了水体的本底含量和水体的自净能力，造成水体污染。水体污染主要来自三个方面。

1. 工业生产废水

工业废水是指工业生产中排出的废水，工业生产废水是最重要的污染源，它有以下几个特点。

(1) 排放量大，污染范围广，排放方式复杂 工业生产用水量大，相当一部分生产用水中都携带原料、中间产物、副产物及产物等排出厂外。工业企业遍布全国各地，污染范围广。工业废水的排放方式复杂，有间歇排放，有连续排放，有规律排放和无规律排放的区别，给污染的防治造成很大困难。

(2) 污染物种类繁多、浓度高低不一 由于工业产品品种多，故工业生产过程中排出的污染物也是数不胜数。不同污染物性质有很大差异，浓度也相差甚远，高的可达几万毫克/升以上，如生产酚醛树脂时排出的含酚废水可达 4 万毫克/升；低的仅在几毫克/升以下，有的甚至不含任何污染物，只是温度发生变化。

(3) 污染物有毒性和刺激性 污染物质有毒性、刺激性、腐蚀性、pH 值变化幅度大，悬浮物和富营养物多，被酸碱类污染的废水有刺激性、腐蚀性，而有机含氧化合物如醛、酮、醚等则有还原性，能消耗水中的溶解氧，使缺氧而导致水生生物死亡。工业废水中含有大量的氮、磷、钾等营养物，使藻类大量生长耗去水中溶解氧，造成水体富营养化污染。工业废水中悬浮物含量也很高，最高可达 300mg/L，为生活污水的 10 倍。

(4) 污染物排放后迁移变化规律差异大 工业废水中所含各种污染物的物理性质和化学性质差别很大，有些还有较强的毒性，较大的蓄积性和较高的稳定性。一旦排放，迁移变化规律很不相同，有的沉积水底，有的挥发转入大气，有的富集于生物体内，有的则分解转化为其他物质，甚至造成二次污染，使污染物具有更大的危险性。例如，某些有机氮在水中经微生物作用可分解为硝酸盐，然后进一步还原为亚硝酸盐进入人体后与仲胺作用生成亚硝胺，有强烈的致癌作用。

(5) 恢复比较困难 水体一旦受到污染，即使减少或停止污染物的排放，要恢复到原来状态仍需要相当长的时间。

2. 生活污水

生活污水是指人们生活过程中排出的废水，生活污水的排放量比工业废水要少得多，而且在组成上也有很大不同，其中固体悬浮物含量很少（不到 1%），而且多为无毒物质，主要是日常生活中的厨房用水、浴洗水、洗涤水、粪便水和冲洗水，生活污水有如下几个

特点:

① 富含营养物质,氮、磷、硫浓度高;
② 含有纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质、尿素等,在厌氧性细菌作用下易产生恶臭物质;

③ 含有多种微生物,如细菌、病原菌,易使人传染上各种各样疾病;

④ 由于洗涤剂的大量使用,使它在污水中含量增大,对人体有一定危害。

3. 农业生产污水

农业生产污水主要是农村污水和灌溉水。由于化肥和农药的大量使用,致使灌溉后排出的水或雨后径流中常含有一定量的农药和化肥,造成水体污染和富营养化,使水质恶化。

二、水体污染物种类及其危害

污水中所含污染物种类很多,总体来说可以分三大类:物理性污染物、化学性污染物和生物性污染物。

1. 水体的物理性污染及危害

(1) 水温 高温废水,排入水体后,使水体水温升高,物理性质发生变化,危害水生动、植物的繁殖与生长,称为水体的热污染。造成的后果是:①因水体的饱和溶解氧浓度与水温成反比关系,水温升高饱和溶解氧降低,水体中的亏氧量也随之减少,故大气中的氧,向水体传递的速率减慢,即水体复氧速率减慢;此外,由于水温升高,水生生物的耗氧速率加快,加速水体中溶解氧的消耗,造成鱼类和水生生物的窒息死亡,使水质迅速恶化;②导致水体中的化学反应速率加快,可引发水体物理化学性质;③使水体中的细菌繁殖加速,该水体如作为给水水源时,所需投加的混凝剂与消毒剂量增加,处理成本增高。特别是由于投氧量增加,可能导致有机氯化物更快地转化为三氯甲烷(CHCl_3 ,或称氯仿),有致癌作用;④加速藻类的繁殖。因此水体的热污染也会加快水体的富营养化进程。

(2) 色度 城市污水,特别是有色工业废水排入水体后,使水体形成色度,引起人们感官不悦。色度有表色与真色之分。由悬浮物造成的色度称表色;由胶体物质与溶解物质形成的色度称真色,由于水体色度加深,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) 固体物质污染 固体物质包括悬浮固体与溶解固体。

水体受悬浮固体污染后,浊度增加、透光度减弱,产生的危害主要是:①与色度形成的危害相似;②悬浮固体可能堵塞鱼鳃,导致鱼类窒息死亡;③由于微生物对有机悬浮固体的代谢作用,会消耗掉水体中的溶解氧;④悬浮固体中的可沉淀固体,沉积于河底,造成底泥积累与腐化,使水体水质恶化;⑤悬浮固体可作为载体,吸附其他污染物质,随水流迁移污染。

水体受溶解固体污染后,使溶解性无机盐浓度增加,故饮用水溶解固体含量应不高于500mg/L。农田灌溉用水,要求不宜超过1000mg/L。

2. 水体的化学性污染及危害

化学污染物种类较多,当其在水体中达到一定浓度并破坏了人的生理功能之后才会影响人体健康,废水中的化学污染可分为以下几类。

① 重金属污染 一般把相对密度大于5以上的金属叫重金属。重金属为砷、镉、铬、铜、铅、汞、镍、锌、硒等。其中砷和硒等并不是重金属,而是类金属。为了避免过于繁琐

的分类，所以也把它们放在重金属中。

在重金属中，除汞、硒和砷的有些化合物容易挥发外，它们和有机物不同，一旦进入环境，并不能降解，而是留在原地长期存在，对人类具有潜在危害。

砷 (As)

自然界含砷的矿物约有 249 种，它的主要来源是硫化砷矿。砷多伴生在铜、铅和锌等的硫化物矿中。世界土壤中含砷量平均约在 5~6mg/kg，我国约在 10.4mg/kg。当土壤中含砷量为 20~30mg/kg 时，植物的生长和发育就不正常。脱毛剂、印染和农药、饲料添加剂和药物等含砷。

慢性砷中毒有消化系统症状，例如食欲不振、胃痛、恶心和肝肿大等；神经系统症状例如神经衰弱和多发性神经炎；皮肤病变，例如皮肤色素高度沉着，高度角质化和龟裂溃疡。砷即使不是致癌物，至少也是辅致癌物。灌溉水质标准为：水田 $\leq 0.05\text{mg/kg}$ ；旱田 $\leq 0.1\text{mg/kg}$ 。

镉 (Cd)

镉是一种毒性很大的金属，土壤中为 0.5mg/kg，海洋污染中为 0.01~10mg/L。镉是一种白色易溶金属，常与锌铜铅锰共存。

镉是人体新陈代谢不需要的金属，且蓄积性很强，动物吸收的镉很难排出体外。在饮用水中浓度超过 0.1mg/L 时就会产生蓄积作用，引起贫血，新陈代谢不良，肝病变，以至于死亡。在肾脏内蓄积，引起病变，会使钙的吸收失调，进而引起骨病变，发生骨软和骨折。日本发生的骨痛病公害就是镉中毒引起的。在水体中镉的浓度为 0.2mg/L 就可以致死某些鱼类。灌溉水质标准为 0.002mg/L 和 0.005mg/L。

铬 (Cr)

铬与镉、汞、铅等同为主要污染物之一，亦为致癌物质，是一种钢灰色的耐腐蚀硬金属，是人畜不可缺少的微量元素，但积累过多就会出现毒害。

铬对人畜毒害主要表现在对消化系统和皮肤有性毒害，能溃疡。 Cr^{6+} 是强氧化剂，抑制尿素酶。活动对皮肤、黏膜有剧烈腐蚀性，经口摄入患胃肠黏膜炎。摄入量达到 2.0mg/kg 体重时，可发生毒性肾肺炎及尿毒症致死。灌溉水规定 Cr^{6+} 不得超过 0.1mg/L。

汞 (Hg)

汞的污染主要来自采矿、选矿、冶金、电镀、化工、墨水制造、造纸、制革、制药、纺织、肥料和氯碱制造等 10 个工矿企业，汞的天然形态为朱砂—— HgS 。一般未受污染的天然河流湖泊水中含汞量约为 0.01~0.1 $\mu\text{g/L}$ 。

汞的来源除上述外还由于农业中应用有机汞杀菌剂浸种的原因，多年应用造成环境污染通过土壤再转入土体、粮食、蔬菜、瓜果等食物链。汞在人体中蓄积于肾、肝、脑中，主要毒害神经，破坏蛋白质、核酸，出现手足麻痹、神经紊乱等症状，日本的水俣病公害就是由于无机汞转化为有机汞，经食物链进入人体而引起的。灌溉水水质标准规定总汞不得超过 0.01mg/L。

铅 (Pb)

铅为银灰色的软金属，在空气中迅速氧化，表面形成一层氧化铅膜，使铅不致进一步氧化。

含铅的汽油使用后，污染空气，也会进入水体，特别是当水具有酸性时，铅对人体有蓄积毒性，每日摄取的铅若超过 0.3~1.0mg，其超过部分不能排出就可在体内蓄积起来，长时间

后会发生铅中毒。铅毒性影响神经系统、骨骼和血液，可造成贫血、神经炎、肾炎等症状。

水体受重金属污染后，产生的毒性有如下特点：

a. 水体中重金属离子浓度在 0.01~10mg/L 之间，即可产生毒性效应；

b. 重金属不能被微生物降解，反而可在微生物的作用下，转化为有机化合物，使毒性猛增；

c. 水生生物从水体中摄取重金属并在体内大量积累；

d. 重金属进入人体后，能与体内的蛋白质及酶等发生化学反应而使其失去活性，并可能在体内某些器官中积累，造成慢性中毒。主要包括汞污染、镉污染、铬污染、铅污染等。

② 有机污染物 有机污染物多为人工合成物质，它们可通过各种途径进入人体，损害人的健康，以下只举几类常见的有机污染物。

酚类

酚类化合物的毒性以苯酚为最大，苯酚、甲酚都能对人的神经系统造成很大危害。环境中的酚中毒呈慢性状态，使人出现神经症状（头昏、头痛、精神不安等）及慢性消化道症状（呕吐、腹泻等）。高浓度酚可引起急性中毒，以至昏迷死亡。酚污染主要是挥发酚，对水生生物有较大毒性。

酚是一种原生质毒物，可使蛋白质凝固，它对各种细胞都有直接损害作用，对皮肤和黏膜有强烈的腐蚀作用。酚进入人体达到一定量就引起中毒。高浓度的酚可以引起急性中毒，低浓度则可引起蓄积性慢性中毒。酚主要作用于神经系统引起头晕、精神不安、贫血等。酚类化合物的毒性还表现于水体中各种生物，如鱼类、贝壳类、海带、微生物等都可中毒而影响生长和繁殖。酚在水体中浓度达每吨几个毫克时，可使鱼类出现中毒症状，鱼产量下降，严重者可大量死亡，当浓度为 0.1~0.2mg/L 时，可使鱼肉带酚味而不能食用。水中含酚超过 0.002~0.003mg/L 时，如用氯消毒，则会使水含有氯酚的臭味，影响饮用。故一般规定饮用水中挥发酚的允许浓度为 0.001mg/L，地面水为 0.01mg/L，灌溉水中不得大于 1mg/L。

芳烃及其衍生物

芳烃及其衍生物如苯、二甲苯、苯酚等会损害人的中枢神经，造成神经系统障碍，危害造血器官和生殖系统。

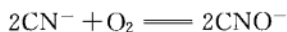
腈及氰化物

腈及氰化物如丙烯腈、乙腈、氰醇等，急性中毒时造成细胞氧化作用障碍，引起组织缺氧使人窒息，意识丧失直至死亡。

氰化物是剧毒物质，人口服在 0.1g 左右立即死亡。水中含氰达 0.3~0.5mg/L 时，鱼便死亡。氰化物排入水体后有较强的自净作用，氰化物与溶于水的 CO_2 作用产生 HCN，排出水体：



水中氰化物在游离氧的氧化作用下可生成 NH_4^+ 和 CO_3^{2-} ，即：



在生活饮用水中规定氰化物不许超过 0.05mg/L，地面水最高容许量为 0.1mg/L。鱼的中毒限量为 0.03mg/L（世界卫生组织）。

有机氧化物

酸、醇、醛、酯、环氧化合物等属于此类，有刺激作用。如甲醛可引起皮肤炎、鼻炎、

支气管哮喘等。

有机氯化物

不少有机氯化物都有致癌作用。多氯联苯（简称 PCB）的急性中毒会造成人的死亡，还可通过胎盘造成胎儿中毒。

农药

农药按化学类别可分为有机氯农药、有机磷农药、有机汞农药、有机砷农药、氨基甲酸酯及苯酰胺类农药。它们对环境、各种农畜产品、食用性植物会造成普遍性污染，并通过食物链进入人体，损害人体健康。例如，有机氯农药会造成中枢神经及肝脏、肾脏的损害，并能产生致癌作用，目前已发现有十余种农药有致癌、致畸作用。

有机污染物主要来源于生活污水和工业废水，在一般的生活污水中，COD 400～500mg/L，BOD₅ 200～300mg/L，对于工业废水，如啤酒废水和造纸黑液，其水量及水质分别为：8～20m³ 废水/m³ 酒，COD 2000～3500mg/L；120～600m³ 废水/t 纸浆，COD 10～15×10⁴mg/L。

有机物排入水体后，在有溶解氧的条件下，由于耗氧微生物的呼吸作用，被降解为 CO₂、H₂O 与 NH₃，同时合成新细胞，消耗掉水体的溶解氧。与此同时，水体水面与大气接触，大气中的氧不断溶入水体，使溶解氧得到补充，这种作用称为水面复氧。若排入的有机物量超过水体的环境容量，则耗氧速度会超过复氧速度，水体出现缺氧甚至无氧；在水体缺氧的条件下，由于厌氧微生物的作用，有机物被降解为 CH₄、CO₂、NH₃ 及少量 H₂S 等有害有臭气体，使水质恶化“黑臭”。从而使水体失去使用价值，进入水体的有机物是水体最重要的污染物。

③ 无机污染物

酸碱性污染

工业生产排出的废水中常含有酸性污染物、碱性污染物及各种无机盐。酸、碱性污染物污染水体使 pH 值发生变化，当 pH>8.5 或 pH<6.5 时，则会消灭或抑制微生物的生长，妨碍了水体的自净能力，对水生生物也是有害的。例如当 pH<5 时，鱼类则难以生存，从而对生态系统发生不良影响。无机盐的存在能增加水的渗透压，对淡水生物和植物生长不利，还会造成水的硬度增长，增加工业用水的处理费用。某些无机盐类如砷的化合物、氰化物、氟化物等也都是毒性较大的污染物。

降雨淋洗受污染空气中的 SO₂，NO_x 所产生的酸雨，也会使水体受到酸、碱污染。酸、碱进入水体后，还会互相中和产生无机盐类。同时又会与水体存在的地表矿物质中和反应，产生无机盐类，故水体的酸、碱污染往往伴随无机盐污染。

另一方面，由于水体中往往都存在一定数量的，由分子状态的碳酸、重碳酸根和碳酸根组成的碳酸系碱度，对外加的酸、碱具有一定的缓冲能力，以维持水体 pH 值的稳定。

硫酸盐与硫化物污染

饮用水中含少量硫酸盐对人体无影响，但超过 250mg/L 后，会引起腹泻。当水体 pH 值低时，以 H₂S 形式存在为主；当 pH 值高时，以 S²⁻ 形式存在为主。H₂S 浓度达 0.5mg/L 时即有异臭。硫化物会使水色变黑。

氯化物污染

水体受氯化物污染后，无机盐含量往往也高，水味变咸，对金属管道与设备有腐蚀作用，且不宜作为灌溉用水。

营养性污染

氮、磷、钾等营养物质是植物生长所必需的物质，但水体中营养物质含量过多，就会产生“富营养化”现象，导致水生生物主要是各种藻类的大量繁殖和旺盛生长，使水中溶解氧大量消耗，水体处于严重缺氧状况，造成鱼类死亡。水中的硝酸盐超过一定量时会产生毒性，亚硝酸能在人体内与仲胺作用合成亚硝胺，这是一种公认的致癌物质。富含 N、P 的水各超过 0.2mg/L、0.02mg/L 的水体，富营养化使藻类大量生长，海洋形成赤潮，湖泊形成水华。

氮、磷属于植物营养物质，随污水排入水体后，会产生一系列的转化过程。

a. 含氮化合物的转化。含氮化合物在水体中的转化可分为两个阶段：第一阶段为含氮有机物如蛋白质、多肽、氨基酸和尿素转化为无机氮，称为氨化过程；第二阶段是氨氮转化为亚硝酸盐与硝酸盐，称为硝化过程。两阶段转化反应都在微生物作用下完成。

蛋白质的降解首先是在细菌分泌的水解酶的催化作用下，水解断开肽键，脱除羧基和氨基形成氨，完成氨化过程。

氨在亚硝酸菌的作用下，被氧化为亚硝酸，接着在硝化菌的作用下，亚硝酸氧化为硝酸，如果水体缺氧，则硝化反应不能进行，而在反硝化菌的作用下，产生反硝化反应。

现在发现硝酸盐在缺氧、酸性的条件下，可还原成亚硝酸盐，亚硝酸盐与仲胺作用，会形成亚硝胺，亚硝胺是三致（致突变、致癌、致畸形）物质，这种反应也可在胃内产生。

b. 磷化合物的转化。水体中磷可分为有机磷与无机磷两大类。

有机磷大多呈胶体和颗粒状。可溶性有机磷只占 30% 左右。

无机磷几乎都是以可溶性磷酸盐形式存在，包括正磷酸盐、偏磷酸盐、磷酸氢盐、磷酸二氢盐，以及聚合磷酸盐如焦磷酸盐、三磷酸盐等。

水体中的可溶性磷很容易与 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等离子生成难溶性沉淀物沉积于水体底部成为底泥。沉积物中的磷，通过水流的湍流扩散再度稀释到上层水体中，或者当沉积物中的可溶性磷大大超过水体中的磷的浓度时，则可能重新释放到水体中。

所有含磷化合物都是首先转化成磷酸盐后，再测定其含量，其结果即总磷，以 PO_4^{3-} 浓度表示。

3. 生物性污染物

生物性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。生物性污染物主要是病原微生物，来自生活污水和医院废水，制革、食品加上等工业废水及牲畜污水，病原微生物有三类，以下做一简单介绍。

病菌

病菌是可以引起疾病的细菌，如大肠杆菌、痢疾杆菌等。

病毒

病毒是一种一般无细胞结构，但有遗传、变异、共生、干扰等生命现象的微生物，如麻疹、流行性感、传染性肝炎病毒等。

寄生虫

寄生虫是动物寄生物的总称，如疟原虫、血吸虫、蛔虫等（有些不属于微生物）。

病原微生物对人体健康影响很大，造成传染病发病率和死亡率的提高。污水会带给水体