

李亚峰 班福忱 许秀红 等编著

废水处理实用技术 & 运行管理

FEISHUI CHULI SHIYONG JISHU
JI YUNXING GUANLI



中国水利水电出版社

废水处理实用技术及运行管理

李亚峰 班福忱 许秀红 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍废水处理的基本原理、工艺流程、处理设备和运行管理,主要包括废水处理的基本知识、废水的物理处理法、废水的化学和物理化学处理法、废水的生物处理法以及污泥的处理与处置等内容。全书以介绍实用技术为主,并兼顾近几年得到发展与应用的新技术、新方法和新设备。

本书可供从事城市污水处理和工业废水处理的技术人员、管理人员学习参考,也可作为污水处理工人技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

废水处理实用技术及运行管理/李亚峰等编著. —北京:
化学工业出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-122-15299-2

I. ①废… II. ①李… III. ①废水处理 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 211888 号

责任编辑: 左晨燕
责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 刘丽华

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 376 千字 2013 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来，投入使用的废水处理设施的数量迅速增加，废水处理设施的运行管理也越来越重要，而且随着新设备和新技术在废水处理中的广泛应用，对工程技术人员和操作工的要求也越来越高。为了提高废水处理设施的运行管理水平，更好地发挥废水处理设施的作用，提高废水处理技术人员和操作工的素质和能力非常重要。为了满足从事废水处理操作和进行技术培训的工程技术人员、技术工人、管理干部的需要，结合废水处理技术的发展及应用情况编著了这本书。

本书充分考虑了读者的需求和特点，强调知识的实用性、语言的通俗性，在内容安排上力求知识体系的合理性、完整性和新颖性，不仅注重基本知识和传统方法与技术的介绍，同时包括近几年在实际工程中已经得到广泛应用的一些新技术和新方法，如膜生物反应器、曝气滤池及一些高级氧化技术等。

本书共分为四篇十六章。第一篇“废水的物理处理法”主要介绍废水的来源与性质、废水处理的典型工艺及特点、废水物理处理方法的基本原理和主要工艺特点；第二篇“废水的化学及物理化学处理法”主要介绍废水化学及物理化学处理法的基本原理和主要工艺特点；第三篇“废水的生物处理法”主要介绍废水生物处理法的基本原理和主要工艺特点；第四篇“污泥的处理与处置”主要介绍污泥浓缩、消化以及脱水等相关知识。本书可供从事废水处理的技术人员、管理人员学习参考，也可作为污水处理工人技能培训教材。

本书第一章、第二章由张吉库、许秀红编写；第三章、第四章由李亚峰、张吉库编写；第五章、第六章由许秀红、马兴冠编写；第七章、第八章由马兴冠、牛明芬编写；第九章、第十章由牛明芬、邹慧芬编写；第十一章、第十二章由马学文、班福忱编写；第十三章、第十四章由班福忱、李亚峰编写；第十五章、第十六章由邹慧芬、马学文编写。全书最后由李亚峰统编定稿。

由于作者水平和时间有限，疏漏之处在所难免，请读者不吝指教。

编著者
2012 年 4 月

目 录

第一篇 废水的物理处理法	1
第一章 废水处理的基本知识	2
第一节 废水的分类及性质	2
第二节 废水水质指标	4
第三节 废水处理方法概述	10
第二章 格栅与滤网	15
第一节 格栅	15
第二节 滤网	17
第三章 重力分离	20
第一节 沉淀的作用与类型	20
第二节 沉砂池	21
第三节 沉淀池	26
第四节 隔油池	38
第四章 其他物理处理方法	40
第一节 离心分离	40
第二节 过滤	42
第三节 均和调节	49
第二篇 废水的化学及物理化学处理法	53
第五章 中和	54
第一节 中和方法分类与中和剂	54
第二节 酸碱废水中和法	54
第三节 药剂中和法	55
第四节 过滤中和	59
第六章 混凝	62
第一节 混凝机理	62
第二节 废水处理中常用的混凝剂	65
第三节 混凝装置与工艺过程	68
第七章 吸附	72
第一节 吸附类型与吸附剂	72
第二节 吸附装置与操作	74
第三节 吸附剂的解吸再生	77
第八章 气浮	79

第一节	气浮的基本原理	79
第二节	气浮方法及设备	80
第九章	其他物理化学法	87
第一节	化学沉淀法	87
第二节	氧化法	89
第三节	还原法	92
第四节	高级氧化新技术	93
第五节	电解	100
第六节	离子交换	103
第七节	膜分离法	110

第三篇 废水的生物处理法

第十章	活性污泥法	122
第一节	活性污泥法基本原理	122
第二节	活性污泥法处理工艺	127
第三节	活性污泥法脱氮除磷基本原理与主要工艺	134
第四节	间歇式活性污泥法 (SBR 法) 及其变形工艺	139
第五节	曝气池和二沉池	143
第六节	活性污泥法的运行管理	148
第十一章	生物膜法	161
第一节	生物膜法基本原理	161
第二节	生物滤池	163
第三节	生物转盘	169
第四节	生物接触氧化法	173
第五节	曝气生物滤池	178
第十二章	自然生物处理	180
第一节	氧化塘处理技术	180
第二节	人工湿地污水处理技术	185
第十三章	膜生物反应器	193
第一节	膜生物反应器的分类与特征	193
第二节	膜生物反应器的工艺流程	195
第三节	MBR 反应器中膜污染及防治	197

第四篇 污泥的处理与处置

第十四章	污泥的性质与浓缩	202
第一节	污泥的分类和性质指标	202
第二节	污泥浓缩	203
第三节	浓缩池的运行管理与工艺控制	205
第十五章	污泥厌氧消化	209
第一节	污泥厌氧消化机理及影响因素	209

第二节 消化池的构造与运行方式..... 211

第三节 消化池的运行管理与工艺控制..... 216

第十六章 污泥脱水与最终处置及利用..... 221

第一节 污泥的脱水与干化..... 221

第二节 污泥的最终处置与利用..... 227

参考文献..... 229

第一篇

废水的物理处理法

第一章 废水处理的基本知识

第一节 废水的分类及性质

一、废水分类

废水是指在人类生活和生产活动中受到污染，改变了原来的性质的水。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并不脏（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。

根据废水的来源，可将其分为生活污水和工业废水两大类。生活污水是指人类在日常生活中使用过的，并被生活废料所污染的水，主要包括粪便水、浴洗水、洗涤水和冲洗水等；工业废水是指工矿企业生产中用过的水，其分类方法很多，但总的可分为生产污水和生产废水两类。生产污水是指在生产过程中形成并被生产原料、半成品或成品等废料所污染，也包括热污染（指生产过程中产生的、水温超过 60℃ 的水）；生产废水是指在生产过程中形成，但未直接参与生产工艺，未被生产原料、半成品或成品污染或只是温度稍有上升的水。生产污水需要进行净化处理；生产废水不需要净化处理或仅需作简单的处理，如冷却处理。

按废水中所含主要污染物的性质可以分为无机废水和有机废水。

按行业的产品加工对象废水可以分为冶金废水、造纸废水、炼焦煤气废水、金属酸洗废水、纺织印染废水、制革废水、农药废水、化学肥料废水等。

按废水中所含污染物的主要成分可以分为酸性废水、碱性废水、含酚废水、含镉废水、含铬废水、含锌废水、含汞废水、含氟废水、含有机磷废水、含放射性废水等。

生活污水与生产污水（或经工矿企业局部处理后的生产污水）的混合污水，称为城市污水。

二、废水的性质

城市废水的水质相对比较稳定，主要污染指标有悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、总氮、总磷、氨氮等。表 1-1 列举了我国部分中小城镇的污水水质特性。

表 1-1 部分中小城镇的污水水质特性 单位：mg/L

中小城镇		SS	BOD ₅	COD	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP
黑龙江	大庆乘风庄	78.1~168.5	46.3~89.4	112.1~205.6	23.2~28.6	15.6~23.4	4.5~7.3
	绥化城关镇	118.2~213.4	86.2~102.1	207.3~235.6	25.7~32.5	21.2~28.9	5.1~8.4
	安达城关镇	103.2~185.3	112.6~36.5	234.6~311.8	35.6~48.7	30.2~36.9	5.6~9.1
山东	广饶城关镇	158.6~290.3	86.3~125.1	183.1~313.2	39.6~36.8	18.4~24.5	3.2~6.8
	东营西城	56.4~89.5	36.4~74.5	83.5~154.3	26.5~31.4	16.4~24.2	3.9~7.2
	胶州城关镇	268.5~389.5	223.4~356.7	458.3~693.1	50.3~62.4	32.5~43.1	4.9~10.5
广东	番禺石桥镇	61.4~142.6	43.2~80.1	89.4~135.2	8.4~38.3	22.5~31.2	3.8~7.8
	佛山镇安	55.4~96.5	38.6~73.2	78.5~146.8	27.5~32.3	20.6~28.4	4.5~7.2
内蒙古	集宁市城关镇	180.5~255.3	78.4~110.2	486.3~210.5	29.2~36.4	21.2~26.5	4.6~8.2
河南	嵩山城关镇	121.5~156.3	68.2~102.1	150.1~232.4	—	18.6~23.2	4.5~7.5

表 1-2 典型石油化工生产废水的水质资料

项 目	尼龙 生产	合成 橡胶	丁二烯	烯烃生产 (油分离 器后)	烯烃 生产	合成橡 胶聚合	氯化氢 制造	炼油厂 烷基化 生产去 污剂	炼油厂 丁二烯 和丁基 橡胶	混合有 机物	2,4,5- 三氯 苯酚	2,4,5- 二氯 苯酚	酚、 甲酚
pH 值	7.4~12	6.4~6.7	8.4~8.5	9.8~10	4.5~8.5	7.8	12.6	9.2	7.5				4.6~7.2
碱度/(mg/L)	22500~ 4070000	37~40	370	1490				365	164				192
氯化物/(mg/L)	475~ 3340	2670~ 2800	1277~ 1350			550	116000~ 1123000	1980	825	800	96300	144000	230
COD/(mg/L)	74000~ 87800	173~ 192	290~ 359	500~ 1500	500~ 2000	3072	3340	855	610	1972	21700	27500	990~ 1940
BOD ₅ /(mg/L)								345	225	1950	16800	16700	550~850
油/(mg/L)	152~367				10~300			73		547			微量
酚/(mg/L)				10~50	10~50			160	17	10~50			280~550
PO ₄ ³⁻ /(mg/L)	5~78	19~22	38	10					微量				3
SO ₄ ²⁻ /(mg/L)		1425~1470	910	180				280		655			
硫化物/(mg/L)					0~1			150					微量
悬浮物/(mg/L)								121	110	60	700	348	12~88
TOC/(mg/L)	19600~ 37200	97~110	131~165	50~700					160				320~580
总氮量/(mg/L)	4630~ 10500	74~89	63	60				89	48	1253	40	45	微量
总可溶性固体/(mg/L)					5~100								
总固体/(mg/L)	41700~ 123500	7420~ 12000	3730	2140				3770	2810	2079	172467	167221	1870~ 2315

各类工业废水的成分比较复杂，与生产工艺、生产原料及生产的产品有关，污染物的浓度也相差悬殊。例如，水果罐头废水的悬浮物变化于 250~3500mg/L 之间，而人造纤维废水却只有 50~200mg/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 列举了典型石油化工生产废水的水质资料。

第二节 废水水质指标

废水中的污染物质种类较多。根据废水对环境污染所造成的危害不同，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。这些污染物对水的污染程度用水质指标来表示。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的重要水质指标，单位为 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

水的浊度是一种表示水样的透光性能的指标，是由于水中泥沙、黏土、微生物等细微的无机物和有机物及其他悬浮物使通过水样的光线被散射或吸收而不能直接穿透所造成的，一般以每升蒸馏水中含有 1mgSiO₂（或硅藻土）时对特定光源透过所发生的阻碍程度为 1 个浊度的标准，称为杰克逊度，以 JTU 表示。浊度计是利用水中悬浮杂质对光具有散射作用的原理制成的，其测得的浊度是散射浊度单位，以 NTU 表示。

浊度的测定方法有分光光度法和目视比色法两种，这两种方法测定的结果单位是 JTU。另外，还有使用光的散射作用测定水浊度的仪器法，浊度计测定的结果单位是 NTU。

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值，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℃ 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地测定温度。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 ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 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,即将废水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 $1/(\Omega \cdot cm)$ 。

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 $20^\circ C$ 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 $20^\circ C$ 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 BOD_5 约为 BOD_{20} 的 70%。 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 $3\sim 4mg/L$ 则表示水已受到有机物的污染。

2. 化学需氧量

以 BOD_5 作为有机物的浓度指标,也存在着一些缺点:①测定时间需 5d,仍嫌太长,难以及时指导生产实践;②如果污水中难生物降解有机物浓度较高, BOD_5 测定的结果误差较大;③某些工业废水不含微生物生长所需的营养物质,或者含有抑制微生物生长的有毒有害物质,影响测定结果。为了克服上述缺点,可采用化学需氧量指标。

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} ”,一般简写为 COD ,单位为 mg/L 。

化学需氧量(COD)的优点是较精确地表示污水中有机物的含量,测定时间仅需数小时,且不受水质的限制。缺点是不能像 BOD 那样反映出微生物氧化有机物、直接地从卫生学角度阐明被污染的程度;此外,污水中存在的还原性无机物(如硫化物)被氧化也需消耗氧,所以 COD 值也存在一定误差。

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。差值越大,难生物降解的有机物含量越多,越不宜采用生物处理法。因此 BOD_5/COD 的比值可作为该污水是否适宜采用生物方法处理的判别标准,故把 BOD_5/COD 的比值称为可生化性指标,比值越大,越容易被生化处理。一般认为此比值大于 0.3 的污水,才适于采用生化处理。生活污水的 BOD_5 与 COD 的比值大致为 0.4~0.8。对于一定的废水而言,一般说来, $COD > BOD_{20} > BOD_5$ 。

3. 总需氧量

总需氧量 TOD 是指水中的还原性物质在高温下燃烧后变成稳定的氧化物时所需要的氧量, 结果以 mg/L 计。TOD 值可以反映出水中几乎全部有机物 (包括 C、H、O、N、P、S 等成分) 经燃烧后变成 CO_2 、 H_2O 、 NO_x 、 SO_2 等时所需要消耗的氧量。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 (TOC) 是间接表示水中有机物含量的一种综合指标, 其显示的数据是污水中有机物的总含碳量, 单位以碳 (C) 的 mg/L 来表示。一般城市污水的 TOC 可达 200mg/L , 工业污水的 TOC 范围较宽, 最高的可达几万 mg/L , 污水经过二级生物处理后的 TOC 一般小于 50mg/L 。

5. 总氮 TN、氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、凯氏氮 TKN

(1) 总氮 TN 为水中有机氮、氨氮和总氧化氮 (亚硝酸氮及硝酸氮之和) 的总和。有机污染物分为植物性和动物性两类: 城市污水中植物性有机污染物如果皮、蔬菜叶等, 其主要化学成分是碳 (C), 由 BOD_5 表征; 动物性有机污染物包括人畜粪便、动物组织碎块等, 其化学成分以氮 (N) 为主。氮属植物性营养物质, 是导致湖泊、海湾、水库等缓流水体富营养化的主要物质, 成为废水处理的重要控制指标。

(2) 氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 氨氮是水中以 NH_3 和 NH_4^+ 形式存在的氮, 它是有机氮化物氧化分解的第一步产物。氨氮不仅会促使水体中的藻类繁殖, 而且游离的 NH_3 对鱼类有很强的毒性, 致死鱼类的浓度在 $0.2\sim 2.0\text{mg/L}$ 之间。氨也是污水中重要的耗氧物质, 在硝化细菌的作用下, 氨被氧化成 NO_2^- 和 NO_3^- , 所消耗的氧量称硝化需氧量。

(3) 凯氏氮 TKN 是氨氮和有机氮的总和。测定 TKN 及 $\text{NH}_3\text{-N}$, 两者之差即为有机氮。

6. 总磷 TP

总磷是污水中各类有机磷和无机磷的总和。与总氮类似, 磷也属植物性营养物质, 是导致缓流水体富营养化的主要物质, 受到人们的关注, 成为一项重要的水质指标。

7. pH 值

酸度和碱度是污水的重要污染指标, 用 pH 值来表示。它对保护环境、污水处理及水工构筑物都有影响, 一般生活污水呈中性或弱碱性, 工业污水多呈强酸或强碱性。城市污水的 pH 值呈中性, 一般为 $6.5\sim 7.5$ 。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。

8. 非重金属无机有毒物质

(1) 氰化物 (CN) 氰化物是剧毒物质, 急性中毒时抑制细胞呼吸, 造成人体组织严重缺氧, 对人的经口致死量为 $0.05\sim 0.12\text{g}$ 。

排放含氰废水的工业主要有电镀、焦炉和高炉的煤气洗涤, 金、银选矿和某些化工企业等, 含氰浓度在 $20\sim 70\text{mg/L}$ 之间。

氰化物在水中的存在形式有无机氰 [如氢氰酸 (HCN)、氰酸盐 (CN^-)] 及有机氰化物 [称为腈, 如丙烯腈 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{CN}$)]。

我国饮用水标准规定氰化物含量不得超过 0.05mg/L , 农业灌溉水质标准规定为不大于 0.5mg/L 。

(2) 砷 (As) 砷是对人体毒性作用比较严重的有毒物质之一。砷化物在污水中存在形式有无机砷化物 (如亚砷酸盐、砷酸盐) 以及有机砷 (如三甲基砷)。三价砷的毒性远高于五价砷, 对人体来说, 亚砷酸盐的毒性作用比砷酸盐大 60 倍, 因为亚砷酸盐能够和蛋白质中的硫反应, 而三甲基砷的毒性比亚砷酸盐更大。

砷也是累积性中毒的毒物, 当饮水中砷含量大于 0.05mg/L 时就会导致累积。近年来发现砷还是致癌元素 (主要是皮肤癌)。工业中排放含砷废水的有化工、有色冶金、炼焦、火电、造纸、皮革等行业, 其中以冶金、化工排放砷量较高。

我国饮用水标准规定, 砷含量不应大于 0.04mg/L , 农田灌溉标准是不高于 0.05mg/L , 渔业用水不超过 0.1mg/L 。

9. 重金属

重金属指原子序数在 21~83 之间或相对密度大于 4 的金属, 其中汞 (Hg)、镉 (Cd)、铬 (Cr)、铅 (Pb) 毒性最大, 危害也最大。

(1) 汞 (Hg) 汞是重要的污染物质, 也是对人体毒害作用比较严重的物质。汞是累积性毒物, 无机汞进入人体后随血液分布于全身组织, 在血液中遇氯化钠生成二价汞盐累积在肝、肾和脑中, 在达到一定浓度后毒性发作, 其毒理主要是汞离子与酶蛋白中的硫结合, 抑制多种酶的活性, 使细胞的正常代谢发生障碍。

甲基汞是无机汞在厌氧微生物的作用下转化而成的。甲基汞在体内约有 15% 累积在脑内, 侵入中枢神经系统, 破坏神经系统功能。

含汞废水排放量较大的是氯碱工业, 因其在工艺上以金属汞作流动阴电极以制成氯气和苛性钠, 有大量的汞残留在废盐水中。聚氯乙烯、乙醛、醋酸乙烯的合成工业均以汞作催化剂, 因此上述工业废水中含有一定数量的汞。此外, 在仪表和电气工业中也常使用金属汞, 因此也排放含汞废水。

我国饮用水、农田灌溉水都要求汞的含量不得超过 0.001mg/L , 渔业用水要求更为严格, 不得超过 0.0005mg/L 。

(2) 镉 (Cd) 镉也是一种比较广泛的污染物质。镉是一种典型的累积富集型毒物, 主要累积在肾脏和骨骼中, 引起肾功能失调, 骨质中的钙被镉所取代, 使骨骼软化, 造成自然骨折, 疼痛难忍。这种病潜伏期长, 短则 10 年, 长则 30 年, 发病后很难治疗。

每人每日允许摄入的镉量为 $0.057\sim0.071\text{mg}$ 。我国饮用水标准规定镉的含量不得大于 0.01mg/L , 农业用水与渔业用水标准则规定要小于 0.005mg/L 。

镉主要来自采矿、冶金、电镀、玻璃、陶瓷、塑料等生产部门排出的废水。

(3) 铬 (Cr) 铬也是一种较普遍的污染物。铬在水中以六价和三价两种形态存在, 三价铬的毒性低, 作为污染物质所指的是六价铬。人体大量摄入能够引起急性中毒, 长期少量摄入也能引起慢性中毒。

六价铬是卫生标准中的重要指标, 饮用水中的浓度不得超过 0.05mg/L , 农业灌溉用水与渔业用水应小于 0.1mg/L 。

排放含铬废水的工业企业主要有电镀、制革、铬酸盐生产以及铬矿石开采等。电镀车间是产生六价铬的主要来源, 电镀废水中铬的浓度一般在 $50\sim100\text{mg/L}$ 。生产铬酸盐的工厂, 其废水中六价铬的含量一般在 $100\sim200\text{mg/L}$ 之间。皮革鞣制工业排放的废水中六价铬的含量约为 40mg/L 。

(4) 铅 (Pb) 铅对人体也是累积性毒物。据美国资料报道, 成年人每日摄取铅低于 0.32mg 时, 人体可将其排除而不产生积累作用; 摄取 $0.5\sim0.6\text{mg}$, 可能有少量的累积,

但尚不至于危及健康；如每日摄取量超过 1.0mg，即将在体内产生明显的累积作用，长期摄入会引起慢性中毒。其毒理是铅离子与人体内多种酶络合，从而扰乱了机体多方面的生理功能，可危及神经系统、造血系统、循环系统和消化系统。

我国饮用水、渔业用水及农田灌溉水都要求铅的含量小于 0.1mg/L。

铅主要含于采矿、冶炼、化学、蓄电池、颜料工业等排放的废水中。

10. 酚

酚是芳香烃苯环上的氢原子被羟基（—OH）取代而生成的化合物，按照苯环上羟基数目不同，分为一元酚、二元酚、多元酚等。又可按照能否与水蒸气一起挥发而分为挥发酚和不挥发酚。酚是常见的有机毒物指标之一。

三、微生物指标

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。

1. 大肠菌群数（大肠菌群值）与大肠菌群指数

大肠菌群数（大肠菌群值）是每升水样中所含有的大肠菌群的数目，以个/L 计；大肠菌群指数是查出 1 个大肠菌群所需的最少水量，以毫升（mL）计。可见大肠菌群数与大肠菌群指数互为倒数，即

$$\text{大肠菌群指数} = \frac{1000}{\text{大肠菌群数}} \quad (\text{mL}) \quad (1-1)$$

若大肠菌群数为 500 个/L，则大肠菌群指数为 1000/500 等于 2mL。

大肠菌群数作为污水被粪便污染程度的卫生指标，原因有两个：①大肠菌与病原菌都存在于人类肠道系统内，它们的生活习性及在外界环境中的存活时间都基本相同。每人每日排泄的粪便中含有大肠菌 $10^{11} \sim 4 \times 10^{11}$ 个，数量大大多于病原菌，但对人体无害；②由于大肠菌的数量多，容易培养检验，但病原菌的培养检验十分复杂与困难，因此，常采用大肠菌群数作为卫生指标。水中存在大肠菌，就表明受到粪便的污染，并可能存在病原菌。

2. 病毒

污水中已被检出的病毒有 100 多种。检出大肠菌群，可以表明肠道病原菌可能存在，但不能表明是否存在病毒及其他病原菌（如炭疽杆菌）。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。

3. 细菌总数

细菌总数是大肠菌群数、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 3 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。

四、污染物排放标准

目前，我国城镇污水处理厂污染物的排放均执行由国家环境保护总局和国家技术监督检验检疫总局批准发布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）。该标准是专门针对城镇污水处理厂污水、废气、污泥污染物排放制定的国家专业污染物排放标准，适用于城镇污水处理厂污水排放、废气的排放和污泥处置的排放与控制管理。根据国家综合排放标准与国家专业排放标准不交的原则，该标准实施后，城镇污水处理厂污水、废气和污泥的排放不再执行综合排放标准。

该标准将城镇污水污染物控制项目分为两类：第一类为基本控制项目，主要是对环境产生较短期影响的污染物，也是城镇污水处理厂常规处理工艺能去除的主要污染物，包括

BOD、COD、SS、动植物油、石油类、LAS、总氮、氨氮、总磷、色度、pH 和粪大肠菌群数共 12 项，一类重金属汞、烷基汞、镉、铬、六价铬、砷、铅共 7 项。第二类为选择控制项目，主要是对环境有较长期影响或毒性较大的污染物，或是影响生物处理、在城市污水处理厂又不易去除的有毒有害化学物质和微量有机污染物，如酚、氰、硫化物、甲醛、苯胺类、硝基苯类、三氯乙烯、四氯化碳等 43 项。

该标准制定的技术依据主要是处理工艺和排放去向，根据不同工艺对污水处理程度和受纳水体功能，对常规污染物排放标准分为三级：一级标准、二级标准、三级标准。一级标准分为 A 标准和 B 标准。一级标准是为了实现城镇污水资源化利用和重点保护饮用水源的目的，适用于补充河湖景观用水和再生利用，应采用深度处理或二级强化处理工艺。二级标准主要是以常规或改进的二级处理为主的处理工艺为基础制定的。三级标准是对于一些经济欠发达的特定地区，根据当地的水环境功能要求和技术经济条件，可先进行一级半处理，适当放宽的过渡性标准。一类重金属污染物和选择控制项目不分级。

一级标准的 A 标准是城镇污水处理厂出水作为回用水的基本要求。当污水处理厂出水引入稀释能力较小的河湖作为城镇景观用水和一般回用水等用途时，执行一级标准的 A 标准。

城镇污水处理厂出水排入 GB 3838 地表水Ⅲ类功能水域（划定的饮用水水源保护区和游泳区除外）、GB 3097 海水二类功能水域和湖、库等封闭或半封闭水域时，执行一级标准的 B 标准。

城镇污水处理厂出水排入 GB 3838 地表水Ⅳ、Ⅴ类功能水域或 GB 3097 海水三、四类功能海域，执行二级标准。

非重点控制流域和非水源保护区的建制镇的污水处理厂，根据当地经济条件和水污染控制要求，采用一级强化处理工艺时，执行三级标准。但必须预留二级处理设施的位置，分期达到二级标准。

城镇污水处理厂水污染物排放基本控制项目，执行表 1-3 和表 1-4 的规定。选择控制项目按表 1-5 的规定执行。

表 1-3 基本控制项目最高允许排放浓度（日均值）

单位：mg/L

序号	基本控制项目		一 级 标 准		二级标准	三级标准
			A 标准	B 标准		
1	化学需氧量(COD)		50	60	100	120 ^①
2	生化需氧量(BOD ₅)		10	20	30	60 ^①
3	悬浮物(SS)		10	20	30	50
4	动植物油		1	3	5	20
5	石油类		1	3	5	15
6	阴离子表面活性剂		0.5	1	2	
7	总氮(以 N 计)		15	20		
8	氨氮(以 N 计) ^②		5(8)	8(15)	25(30)	
9	总磷(以 P 计)	2005 年 12 月 31 日前建设的	1	1.5	3	5
		2006 年 1 月 1 日起建设的	0.5	1	3	5
10	色度(稀释倍数)		30	30	40	50
11	pH 值		6~9			
12	粪大肠菌群数/(个/L)		103	104	104	

① 下列情况下按去除率指标执行：当进水 COD>350mg/L 时，去除率应大于 60%；BOD>160mg/L 时，去除率应大于 50%。

② 括号外数值为水温>12℃时的控制指标，括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

表 1-4 部分一类污染物最高允许排放浓度（日均值） 单位：mg/L

序 号	项 目	标 准 值	序 号	项 目	标 准 值
1	总汞	0.001	5	六价铬	0.05
2	烷基汞	不得检出	6	总砷	0.1
3	总镉	0.01	7	总铅	0.1
4	总铬	0.1			

表 1-5 选择控制项目最高允许排放浓度（日均值） 单位：mg/L

序号	选择控制项目	标准值	序号	选择控制项目	标准值
1	总镍	0.05	23	三氯乙烯	0.3
2	总铍	0.002	24	四氯乙烯	0.1
3	总银	0.1	25	苯	0.1
4	总铜	0.5	26	甲苯	0.1
5	总锌	1.0	27	邻-二甲苯	0.4
6	总锰	2.0	28	对-二甲苯	0.4
7	总硒	0.1	29	间-二甲苯	0.4
8	苯并[a]芘	0.00003	30	乙苯	0.4
9	挥发酚	0.5	31	氯苯	0.3
10	总氰化物	0.5	32	1,4-二氯苯	0.4
11	硫化物	1.0	33	1,2-二氯苯	1.0
12	甲醛	1.0	34	对硝基氯苯	0.5
13	苯胺类	0.5	35	2,4-二硝基氯苯	0.5
14	总硝基化合物	2.0	36	苯酚	0.3
15	有机磷农药(以 P 计)	0.5	37	间-甲酚	0.1
16	马拉硫磷	1.0	38	2,4-二氯酚	0.6
17	乐果	0.5	39	2,4,6-三氯酚	0.6
18	对硫磷	0.05	40	邻苯二甲酸二丁酯	0.1
19	甲基对硫磷	0.2	41	邻苯二甲酸二辛酯	0.1
20	五氯酚	0.5	42	丙烯腈	2.0
21	三氯甲烷	0.3	43	可吸附有机卤化物(AOX,以 Cl 计)	1.0
22	四氯化碳	0.03			

第三节 废水处理方法概述

废水处理，实质上就是采用各种手段和技术将废水中的污染物分离出来，或将其转化为无害的物质，从而使废水得到净化。

一、废水处理方法及分类

现代废水处理方法主要分为物理处理法、化学处理法和生物处理法三类。

（1）物理处理法 通过物理作用分离、回收废水中不溶解的悬浮状态污染物（包括油膜和油珠）的方法，可分为重力分离法、离心分离法和筛滤截留法等。属于重力分离法的处理单元有沉淀、上浮（气浮）等，相应使用的处理设备是沉砂池、沉淀池、隔油池、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。筛滤截留法有栅筛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机等。以热交换原理为基础的处理方法也属于物理处理法，其处理单元有蒸发、结晶等。

（2）化学处理法和物理化学处理法 即通过化学反应和传质作用来分离、去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物或将其转化为无害物质的方法。在化学处理法中，以投加药剂产生