

废水处理 过程及设备

浙江科学技术出版社

废水处理过程及设备

来关根等编著

浙江科学技术出版社

责任编辑 吕粹芳

封面设计 詹良善

废水处理过程及设备

来关根等编著

吴宏美主审

*

浙江科学技术出版社出版

浙江新华印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/32 印张7.5 字数165,000

1986年11月第 一 版

1986年11月第一次印刷

印数: 1—9,850

统一书号: 15221·122

定 价: 1.40 元

前 言

环境科学是一门新兴的、综合性的边缘学科。它涉及的面广，综合性强，体现了科学发展史上的一个新开端，成了当前科学技术重点研究的课题之一。

围绕着眼环境问题，出现了许多新学科，三废处理（即废水、废气与废渣处理）则是环境科学中的一个重要分支，其内容也是极为广泛的。就废水处理而论，各种各样的工业废水及生活污水，五颜六色、门类繁多、水质复杂；处理方法、设备大小、结构形式等各不相同，并随着废水处理技术的不断发展和对环境保护工作的要求不断提高，以节能高效低耗为中心的各种废水处理的新工艺、新设备将不断涌现。

由于废水处理工艺和设备方法多、种类繁，因此，常常使人们不易摸到头绪。但如果将各种废水处理过程加以分析，便可发现任何一个工厂或车间的废水处理工艺，都是由一些应用较广，而为数不多的若干基本处理过程所组成的。例如在所有的废水处理工艺中，一般都要输送废水或混凝剂、助凝剂等液体物料，以及压缩空气等气体物料，而输送的设备则绝大多数是泵和压缩机。因此，输送这些相类似的流体，可看作一个基本单元过程。

按照上述分析，就可把各行各业各种复杂的废水处理工艺整理成为几个基本处理过程或叫单元操作。如果进一步观察，还可发现这些基本处理过程的原理是大致相同的，所使用的设备可归纳成为数不多的几种典型形式。换句话说，可以把任何一种废水处理工艺，看成是由若干基本处理过程和设备组合而

成的。所以，只要熟悉了这些基本处理过程的原理和典型设备，就易于了解任一废水的处理工艺。这样，我们就可通过对这些为数不多的基本处理过程及典型设备的深入研究，进一步提高废水处理的效能，降低废水处理的成本，发展废水处理的新工艺和新设备。这对推动环境科学系统地深入发展，是有其一定的现实意义的。

按照这些基本处理过程和设备的特点，我们将其分为以下六类：

- (一) 废水动力过程及设备
- (二) 废水传热过程及设备
- (三) 废水传质过程及设备
- (四) 废水分离过程及设备
- (五) 废水化学处理过程及设备
- (六) 废水生物降解过程及设备

应该指出，上述的分类方法并非绝对的，在一个过程中常常包含有另一过程，而某些设备也会随着使用目的不同，产生不同的作用。其次，随着科学技术水平的日益提高，使许多典型过程和设备不断地推陈出新，但所遵循的仍是流体力学、热力学等基本规律。

废水处理过程及设备正在逐渐形成一门完整的技术学科，它的主要内容就是研究废水处理工艺各个基本处理过程的基本原理、处理设备的工艺结构和性能，以及工艺设计方法等。这对从事环境保护和废水处理的技术人员来说，是一门重要的基础技术知识。

本书是废水处理过程及设备这门学科的基础知识。由于我们研究肤浅，加之时间仓促，文中不妥之处，敬请读者批评指正，以期再版时进一步完善与提高。

参加本书编写的还有（以篇幅先后为序）吴宏美、杨德托、谢先德、冯亚光、朱良天等同志。中国环境科学学会常务理事、浙江省环境保护局总工程师、高级工程师吴宏美主审了全书，并提出了许多宝贵的意见。在编写过程中，中国环境工程学会理事长过祖源先生、中国环境科学学会学术委员会“水污染控制与水源保护”负责人李宪法先生，都先后来函对编写本书表示积极支持，在此深致谢意。

作 者 1984年8月于杭州

目 录

第一篇 废水动力过程及设备

第一章 流体力学基础	(1)
第一节 流体的静力学性质	(1)
(一) 重度和相对密度	(2)
(二) 流体的粘度	(3)
(三) 液体的压强	(4)
第二节 流体的动力学原理	(5)
(一) 流体的流量和流速	(5)
(二) 流体流动的两种型态	(6)
(三) 流体流动时的压强	(8)
(四) 管路阻力	(9)
第二章 废水输送管路及设备	(11)
第一节 管路	(11)
(一) 管子	(11)
(二) 管子的连接	(14)
(三) 管件	(16)
(四) 阀门	(17)
(五) 管路安装基本原则	(19)
第二节 离心泵	(19)
(一) 离心泵的构造及工作原理	(20)
(二) 离心泵的性能参数及选择方法	(20)
(三) 离心泵的安装及使用	(23)
第三节 附属构筑物	(25)
(一) 检查井	(25)
(二) 水封井	(27)

(三) 跌水井·····	(28)
(四) 废水排出口·····	(29)
第三章 本篇计算应用实例·····	(31)
离心泵的选用·····	(31)

第二篇 废水传热过程及设备

第四章 传热过程的基本原理·····	(34)
第一节 传导传热·····	(35)
第二节 对流传热·····	(37)
第三节 辐射传热·····	(39)
第五章 传热过程的典型设备·····	(41)
第一节 常见的换热设备·····	(41)
(一) 夹套式换热器·····	(41)
(二) 蛇管式换热器·····	(41)
(三) 套管式换热器·····	(43)
(四) 列管式换热器·····	(43)
(五) 列管式蒸发器·····	(44)
(六) 薄膜蒸发器·····	(45)
(七) 搅拌冷却结晶器·····	(46)
第二节 换热设备的工艺参数·····	(47)
(一) 热负荷与传热系数·····	(47)
(二) 传热平均温差·····	(49)
(三) 传热面积·····	(52)
第六章 本篇计算应用实例·····	(53)
列管式换热器的设计计算·····	(53)

第三篇 废水传质过程及设备

第七章 传质过程的基本原理·····	(60)
第一节 相平衡和传质推动力·····	(60)
(一) 相平衡·····	(60)
(二) 传质推动力·····	(62)

第二节	传质方程式	(62)
第八章	传质过程及典型设备	(64)
第一节	蒸汽蒸馏	(64)
第二节	吹脱	(67)
第三节	萃取	(70)
第四节	吸附	(72)
第五节	离子交换	(75)
第九章	本篇计算应用实例	(78)
(一)	蒸汽蒸馏法应用举例	(78)
(二)	吸附法应用举例	(82)
(三)	萃取法应用举例	(83)
第四篇 废水分离过程及设备		
第十章	废水分离的基本原理	(85)
第一节	下沉规律	(85)
(一)	非絮凝分散粒子的沉降	(85)
(二)	表面溢流率——设计沉速	(88)
(三)	絮凝物质的沉降	(91)
(四)	层状沉降和压缩	(92)
第二节	上浮原理	(92)
第三节	过滤机理	(94)
(一)	原理概述	(94)
(二)	压头损失	(95)
(三)	过滤效率	(96)
(四)	过滤性指数	(97)
第十一章	废水分离单元设备	(98)
第一节	沉淀分离设备	(98)
(一)	平流式沉淀池	(99)
(二)	圆形沉淀池	(99)
(三)	上流式沉淀池	(99)

(四) 平板脉冲沉淀池	(100)
第二节 上浮分离设备	(100)
(一) 溶解空气上浮设备	(101)
(二) 机械分散空气上浮装置	(104)
(三) 化学上浮装置	(107)
(四) 离子浮选装置	(107)
第三节 过滤分离设备	(108)
(一) 滤池分类	(108)
(二) 几种滤池(机)简介	(108)
第十二章 本篇计算应用实例	(111)
(一) 下沉法举例	(111)
(二) 上浮法举例	(113)
(三) 过滤法举例	(117)

第五篇 废水化学处理过程及设备

第十三章 废水化学概论	(121)
第一节 常用废水化学名词概述	(121)
(一) 酸碱度	(121)
(二) pH 值	(122)
(三) 色度和浊度	(122)
(四) 化学耗氧量	(122)
(五) 生物耗氧量	(123)
(六) 悬浮物和固体物	(123)
(七) 油类	(123)
(八) 溶解物	(124)
(九) 温度	(124)
(十) 重金属及其化合物	(124)
第二节 水及废水化学特性	(125)
(一) 水的结构和特性	(125)
(二) 水化学方程组成	(126)

第十四章 化学处理过程及典型设备	(127)
第一节 酸碱中和处理	(127)
第二节 化学混凝处理	(135)
(一) 混凝剂的种类	(135)
(二) 各类混凝剂的作用机理	(137)
(三) 影响混凝的主要因素	(139)
(四) 处理流程及设备	(140)
第三节 化学氧化还原处理	(145)
(一) 氧化还原反应	(145)
(二) 物质的氧化还原与电极电势	(145)
(三) 废水处理中常用的氧化剂和还原剂	(146)
(四) 常用的化学氧化还原处理方法	(148)
第十五章 本篇计算应用实例	(153)
(一) 酸碱中和法应用举例	(153)
(二) 化学混凝法应用举例	(153)
(三) 氧化法应用举例	(155)
(四) 还原法应用举例	(158)
第六篇 废水生物降解过程及设备	
第十六章 生物降解过程的基本原理	(159)
第一节 微生物的代谢作用	(160)
第二节 酶与酶反应	(165)
第十七章 生物降解过程及典型设备	(172)
第一节 活性污泥法	(172)
(一) 活性污泥净化废水过程	(175)
(二) 活性污泥法的流程	(176)
(三) 曝气池池型的选择	(183)
(四) 曝气池的设计	(185)
第二节 生物膜法	(188)
(一) 生物滤池	(190)

(二) 生物转盘	(197)
(三) 接触氧化法	(204)
第三节 厌氧生物处理	(205)
第十八章 本篇计算应用实例	(213)
(一) 活性污泥法应用举例	(213)
(二) 生物膜法应用举例	(221)
附表 一些单位与国际单位制 (SI) 单位的换算关系	(225)

第一篇

废水动力过程及设备

第一章 流体力学基础

流体是液体和气体的统称。在废水处理过程中所处理的对象，使用的药剂，绝大多数是流体。因此，在废水处理工厂或车间，都会涉及到流体在管道中流动的问题。为了使流体物料输送时所消耗的动力最小，这就需要选择适当的流体输送设备；同时，还必须选择适宜的流体流动条件。

上述问题，都和流体力学有关。流体力学所研究的是流体的各种力学问题，也就是流体在静止或流动状态下所遵循的各种规律。其主要内容有：流体的静力学性质；流体的动力学原理。

第一节 流体的静力学性质

在废水处理中常遇到的流体，除了各种水质的废水外，还有化学混凝剂、助凝剂、氧化剂、蒸汽和空气等。这些流体输送设备和流动条件又不完全相同，因而使废水处理过程中的流体输送问题相当复杂。为了便于了解有关的流体流动理论知识，解决废水处理中流体力学方面的实际问题，这里先介绍流体的一些基本性质，如流体的重度和相对密度*，流体的粘

* 相对密度即为平时所称的“比重”，因国家标准中没有收入“比重”这一名词，本书用相对密度代替。

度、液体的压强等。

(一) 重度和相对密度

重度和相对密度这两个概念是我们经常遇到的。譬方说，当问到“油为什么会飘在水上？”有人就会回答说：“那是因为油比水轻呀！”听到这样的答复，如果不加思索，并不觉得有问题；但仔细想后，就觉得“油比水轻”的说法很不确切了。其实，我们通常所说的“油比水轻”是指在相同容积的条件下油比水轻，如果不是在同一容积下进行比较，当然没有意义了。为了表示各种流体在相同容积下的重量，我们提出了重度和相对密度这两个概念。

重度是指单位体积物质的重量。任一物质的重度可用下列公式表示：

$$r = G/V \quad (1-1)$$

式中 r ——物质的重度，公斤/米³；

G ——物质的重量，公斤；

V ——物质的体积，米³。

物质的重度随温度的变化而不同，温度越高，物质的体积会膨胀加大，其重度将随着变小。

相对密度是指物质的密度和4℃时纯水的密度的比值。4℃时纯水的重度等于1000公斤/米³，所以，任一物质的相对密度在数值上是该物质重度的千分之一倍，但没有单位。显然，物质的相对密度也是随温度变化而变化的，温度越高，其值越小。

对于气体，通常用标准状况下（0℃，1大气压）单位体积中气体的重量来表示重度。如在0℃和1大气压下，1立方米的空气重1.293公斤。表1—1及表1—2列举了某些常见流体的重度和相对密度。

表 1—1 某些常见液体物质在15~20℃时的重度和相对密度

溶液名称	重 度 (公斤/米 ³)	相对密度	溶液名称	重 度 (公斤/米 ³)	相对密度
10%FeSO ₄	1100	1.100	2%KCl	1011	1.011
10%NaOH	1109	1.109	2%NaCl	1012	1.012
30%H ₂ SO ₄	1220	1.220	2%NaNO ₃	1012	1.012
30%HCl	1149	1.149	2% (NH ₄) ₂ SO ₄	1010	1.010
2 %NH ₄ Cl	1004	1.004			

表 1—2 某些气体物质在标准状态下的重度和相对密度

气体名称	重 度 (公斤/米 ³)	相对空气 的 密 度	气体名称	重 度 (公斤/米 ³)	相对空气 的 密 度
空 气	1.293	1	乙 烯	1.2604	0.975
氢	0.7714	0.596	乙 炔	1.1747	0.907
氮 气	1.2505	0.967	丙 烷	2.0096	1.554
甲 烷	0.7168	0.554	丁 烷	2.7032	2.090

(二) 流体的粘度

粘稠的液体比稀薄的液体流得慢，这是显而易见的，因为粘稠的液体流动时，分子间摩擦阻力较大。表示流体流动时由于其分子间摩擦所产生的阻力大小叫粘度。

流体粘度随其成分、温度和压力而定。粘度的大小可用动力粘度单位和运动粘度单位等表示。动力粘度是两流层之间相距 1 厘米，其面积各为 1 平方厘米，相对移动速度为 1 厘米/秒时所产生的阻力，单位为 克/厘米·秒。1 克/厘米·秒叫 1 泊，百分之一泊叫厘泊。动力粘度和同温度下液体密度的比值叫运动粘度，单位是 厘米²/秒。1 厘米²/秒叫 1 沱，百分之一沱叫厘沱。表 1—3 列举了三种有代表性流体的粘度。

表 1—3 三种代表性流体的动力粘度〔厘泊〕

粘 度 温 度 流 体	0℃	20℃	50℃	100℃	备 注
水	1.792	1.005	0.549	0.284	代表粘度较小的液体
甘 油	12041	1069	176	10	代表粘度较大的液体
空 气	0.0172	0.0182	0.0196	0.0219	不同气体，差别不是太大

(三) 液体的压强

我们知道单位面积上所受压力的大小叫压强，并可用下式表示：

$$P = p/F \quad (1-2)$$

式中 P ——压强，公斤力/厘米²；

p ——面上所受的压力，公斤力；

F ——面积，厘米²。

知道了压强的基本概念，对液体的压强也就很容易了解了。液体是有重量的，液体的重量所引起的压强存在于液体内部各个部分。在一定深度处，液体对一个面的压强跟这个面的方向无关，其大小随着液体深度的增加而加大的，并且等于液体的重度和深度的乘积。

$$P = h \times r \quad (1-3)$$

式中 P ——液体内部某一点压强，公斤力/厘米²；

h ——液体内部某一点距液面的高度，厘米；

r ——液体的重度，公斤/厘米³。

如果液面上部空间压强不是零，那么液体任一点压强还

应加上上部空间的压强，可用下式表示：

$$p = p_0 + h \cdot r \quad (1-4)$$

式中 p_0 ——液体表面上的绝对压强，公斤力/厘米²；
其余符号与前式相同。

第二节 流体的动力学原理

上一节，我们主要讨论了流体处于相对静止时的基本性质，但在废水处理中碰到的绝大多数是流体通过管道和设备而流动的情况，故本节着重讨论流体流动时的一些基本规律问题。其主要内容有：流体的流量和流速，两种不同类型的流动；流体流动时的压强，流体流动时的阻力。

(一) 流体的流量和流速

在单位时间内，通过管子有效横断面的流体量叫做流量。如果流量用体积表示，叫做体积流量；用重量表示叫做重量流量。例如，1秒钟内从一根管路中流过20公斤废水，那么废水在管内的重量流量即为20公斤/秒。

流体在单位时间内所流经的行程叫做流速。流速可用：厘米/秒、米/秒、米/时等单位表示。流体沿着管子流动时，由于流体和管壁间有摩擦力，所以管内的有效横断面上的液体质点在各点的流速并不相同。如图1—1所示，与管壁相接触的

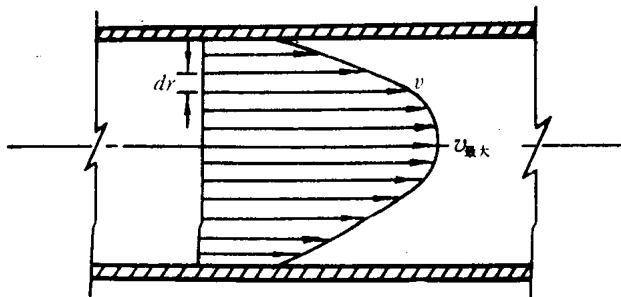


图1—1 管内的流速分布