

废水处理与利用

清华大学给水排水教研组

中国建筑工业出版社

废 水 处 理 与 利 用

清华大学给水排水教研组

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

本书为工业废水处理的基本理论读物，主要包括：物理法、化学法及生物法处理工业废水，污泥的处理与利用，废水处理厂的规划与总体布置，以及几种工业废水的处理与利用等。

供给排水专业人员及大专院校给排水专业师生参考。

废 水 处 理 与 利 用

清华大学给水排水教研组

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米^{1/16} 印张：20 字数：485千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷

印数：1—16,580册 定价：1.45元

统一书号：15040·3405

前 言

本书是根据我校1972年所编《废水处理与利用》讲义改写而成的参考书。在编写过程中得到了兄弟院校和有关单位的热情帮助，提供了宝贵的意见，在此表示感谢。

本书由教研组集体编写，各章节的编写人如下：

顾夏声写第一、二、三、十一、十四章及第七章第六节；黄铭荣写第四、六、七、九章及第五章第二节、第十章第一、二、三、四节；钱易写第十二、十三、十五、十六、二十章；傅国伟写第八章及第十章第六节；胡纪萃写第十七、十八章及第五章第一节；此外，还有陶葆楷、马倩如、井文涌、蒋展鹏、王桂民、沈英鹏、陆正禹、陈经木、徐忠华等参加编写及讨论工作。

由于我们水平有限，深入实际不够，时间也较仓促，书中定有不少错误之处，请读者批评指正。

清华大学给水排水教研组

目 录

第一篇 水体污染及防护

第一章 废水性质	1
第一节 废水来源及分类	1
第二节 废水水质指标	1
第三节 工业废水特征	5
第四节 生活污水特征	6
第二章 水体污染、自净及防护	8
第一节 水体污染	8
第二节 水体自净	9
第三节 水体防护	12
第三章 废水处理与利用的 基本方法	15
第一节 解决废水问题的主要原则	15
第二节 废水处理与利用的基本方法	16
第三节 处理程度	17

第二篇 物理法

第四章 水质调节	21
第五章 重力分离法	24
第一节 沉淀与上浮	24
第二节 气浮(浮选)	45
第六章 离心分离法	55
第一节 离心分离原理	55
第二节 离心分离设备及其计算	55
第七章 过滤法	62
第一节 格栅	62
第二节 筛网	63
第三节 砂滤	64
第四节 布滤	64
第五节 微孔管过滤	66
第六节 反渗透	66
第八章 热处理	68
第一节 传热原理	68

第二节 换热器的工艺设计	78
第三节 蒸发	83
第四节 结晶	94

第三篇 化学法

第九章 投药法	99
第一节 混凝	99
第二节 中和	100
第三节 氧化还原	105
第四节 其他	111
第十章 传质法	114
第一节 传质过程的基本概念	114
第二节 萃取	115
第三节 汽提	124
第四节 吹脱	128
第五节 吸附	132
第六节 离子交换	139
第七节 电渗析	146

第四篇 生物法

第十一章 基本概念	153
第一节 微生物的基本知识	153
第二节 好气生物处理和厌氧生物处理	160
第三节 对水质的要求	163
第十二章 污水灌溉与污水养鱼	166
第一节 灌溉及养鱼的积极意义	166
第二节 水质要求	168
第三节 污水灌溉的规划设计	169
第四节 养鱼塘和氧化塘	175
第五节 污水灌溉或污水养鱼必 须注意的问题	176
第十三章 生物滤池	178
第一节 工作原理	178
第二节 构造	180

第三节 普通和高负荷生物滤池	183	第三节 高程布置及纵断面图	265
第四节 设计计算	187	第四节 布水、配水与计量	269
第五节 新型生物滤池	193		
第六节 运转管理	196	第七篇 几种工业废水的处理与利用	
第十四章 活性污泥法	198	第十九章 石油炼厂废水	272
第一节 什么是活性污泥法	198	第一节 生产装置和排出的废水	272
第二节 曝气方法和曝气池的构造	200	第二节 废水性质	274
第三节 运行方式及工作原理	205	第三节 废水系统	275
第四节 设计	211	第四节 处理流程和方法	276
第五节 运行	229	第五节 修建及运行费用	231
第六节 发展	234	第二十章 电镀废水	281
第七节 生物滤池和活性污泥法的比较	236	第一节 废水来源及危害	281
第五篇 污泥的处理与利用		第二节 废液的回收利用和化学洗涤法	282
第十五章 污泥成份与性质	239	第三节 含氰废水处理	283
第一节 性质指标	239	第四节 含铬废水处理	285
第二节 分类及特征	240	第二十一章 造纸废水	288
第三节 输送	241	第一节 造纸工艺基本知识	288
第十六章 污泥处理与利用	243	第二节 处理与利用	289
第一节 概述	243	第二十二章 含酚废水	297
第二节 脱水干化	243	第一节 概述	297
第三节 消化	249	第二节 回收及处理的方法	299
第四节 湿法燃烧	255	第三节 焦化厂含酚废水处理与利用	301
第五节 综合利用	256	第四节 煤气发生站含酚废水处理与利用	305
第六篇 废水处理厂(站)的规划与总体布置		附 录	
第十七章 处理工艺的确定	259	一、地表水中有害物质的最高容许浓度	307
第一节 原始资料	259	二、饱和水蒸汽的特性	308
第二节 处理流程的选择	259	三、工业换热器中传热系数 K 的参考数据	310
第十八章 总体布置	263	四、某些水溶液在大气压下的沸点	311
第一节 厂址选择	263	五、空气管计算	312
第二节 平面布置及总平面图	263	六、罗茨鼓风机	314

第一篇 水体污染及防护

第一章 废 水 性 质

第一节 废 水 来 源 及 分 类

在工业生产过程和人民生活中都需要大量的水，因此也会有大量废水排出。

工业废水就是在工业生产中所排出的废水，它有着各种各样的成份，主要决定于在生产过程中应用的原材料和化学品。不同的工业产生不同性质的废水，同类工业如果采用的生产过程不同，产生的废水也不同。而且，即使是同来源的废水，它的成份也不是固定不变的，逐时和逐季的变化有时可能很大。

各种工业废水性质虽不相同，但除冷却水等较清洁的生产废水（这种废水常称为相对净废水）可以直接排入水体或经某些处理后循环使用外，多半具有危害性。例如，有的含有大量有机污染物质，有的含有毒质，有的物理性状十分恶劣，大都需经适当处理后，才能排入水体。但应当指出，按照唯物辩证法来看，世界上没有什么绝对的废物。事物在一定条件下是可以转化的，有些东西在没有被人们认识，没有得到利用时是废物，一经认识、利用之后就不是废物了。工业废水中的有毒物质往往都是宝贵的工业原料或肥料物质。对于这种废水，我们应当首先考虑回收利用。

工业废水按其所含的成份，可分为下列三类：

第一类，主要是含无机物的废水，包括冶金、建筑材料等工业所排出的废水和无机酸制造、漂白粉制造等一部分化学工业废水。

第二类，主要是含有机物的废水，包括食品工业废水、塑料工业废水、炼油和石油化工废水、毛皮工业废水等。

第三类，是含有大量有机物同时又含有大量无机物的废水，例如，炼焦化学厂（焦化厂）和煤气发生站的废水、化学工业中的氮肥厂、合成橡胶厂和制药厂的废水、轻工业中的洗毛厂、人造纤维厂和皮革厂的废水等。

生活污水是指居民在日常生活中所产生的废水，主要包括厨房洗涤，沐浴、衣服洗涤的废水及冲刷厕所的污水等。这类废水的成份及其变化决定于居民的生活状况及生活习惯。它含有大量有机物，如蛋白质、油脂和碳水化合物等，其性质和食品工业废水相仿。

第二节 废 水 水 质 指 标

选择废水处理和利用的方案时，首先要进行水质和水量的调查。各种废水的性质很复杂，肉眼观察只能对它的某些物理性状得到一些感性的认识，比较确切和全面的认识必须通过水质的分析才能得到。有毒物质、有机物质、悬浮物、pH值、颜色等都是表示水质

污染情况的重要指标。

1. 有毒和有用物质 生活污水一般不含有毒物质，但含有相当数量的氮、磷、钾等肥料物质，因而必须尽可能利用以灌溉农田。

工业废水所含的某些污染物质往往对人体和生物有毒害作用。例如化工厂甲脂、氰化钠车间所排出的废水含有剧毒物质氰化物，在乙醛生产中排出的废水含有汞，维尼龙生产废水含有甲醛，焦化厂废水中含有大量酚等等。但是，这些有毒物质往往又都是有用的工业原料，应当加以回收利用，为国家创造财富。因此，有毒和有用物质的含量是废水处理与利用工作中的重要水质指标，应通过水质分析加以确定。

2. 有机物 为什么要测定水中的有机物？有机物进入水体后，将在微生物的作用下进行氧化分解，使水中的溶解氧逐渐减少。当水中有机物较多，氧化作用进行得太快而水体不能及时从大气中吸收充足的氧来补充消耗时，水中的氧就可能降得很低，例如，低于3~4毫克/升，会影响鱼类的生活。当水中溶解氧耗尽后，有机物便开始腐化^①，发出臭气，影响环境卫生。有机物又是很多微生物（其中包括可引起传染疾病的细菌）生长繁殖的良好食料，有毒有机物更将直接危害人体健康和动植物的生长。因此，废水中有机物的浓度也是一个重要的水质指标。

由于有机物的组成比较复杂，要想分别测定各种有机物的含量比较困难。一般采用耗氧量和生化需氧量两个指标来表示有机物的浓度。如果水中的有机物含有毒性，那时，就需要分别测定这些有毒物质的数量。

（1）生化需氧量 生化需氧量（以符号 BOD 表示）表示生物氧化（利用微生物的作用进行氧化）水中有机物所需的氧量。单位常用单位体积废水所消耗的氧量（毫克/升）来表示。生化需氧量越高，表示水中有机物越多。

生物氧化的整个过程一般可分为两个阶段。在第一阶段中，主要是有机物被转化成无机的二氧化碳、水和氨；在第二阶段，主要是氨被转化为亚硝酸盐和硝酸盐。因为氨已经是无机物，它的进一步氧化，对卫生的影响较小。所以废水的生化需氧量通常只指第一阶段有机物生物氧化所需的氧量。

因为微生物的活动与温度有关，所以测定生化需氧量时须规定一个温度，一般以20°C作为测定的标准温度。当温度为20°C时，一般的有机物（生活污水和性质与之相近的工业废水中的有机物）需20天左右的时间才能基本完成第一阶段的氧化分解过程。这就是说，要确定第一阶段的生化需氧量（简称总生化需氧量或完全生化需氧量）至少需20天左右，这在实用上是有困难的。所以目前都以五天作为测定生化需氧量的标准时间，因为这时所测得的生化需氧量（称五天生化需氧量，用符号 BOD_5 ^② 表示）已有一定的代表性。根据试验研究，一般有机物的五天生化需氧量约为第一阶段生化需氧量的70%左右，某些工业废水的五天生化需氧量与第一阶段生化需氧量则可相差很大或者比较接近。

试验研究表明，生物氧化反应的速度决定于微生物和有机物的含量，至于水中溶解氧的含量只要能够满足微生物生命活动的需要就可以了。在反应中，微生物的含量在开始时是增加的，但到一定时间（约一天）后微生物的含量就受有机物含量的限制而达到一个最

① 关于微生物氧化分解有机物的作用，将在第十一章里介绍。

② n 天生化需氧量可以符号 BOD_n 表示。一般有机物的二十天生化需氧量 BOD_{20} 基本上等于它的第一阶段生化需氧量。

高值。此后，反应速度基本上只决定于有机物的含量。因此，可以说，在第一阶段的反应中，有机物在各时刻反应的速度和该时刻水中有机物的含量成正比。由于有机物可以用生化需氧量来表示，所以也可以说，废水中有机物在各时刻的耗氧速度和该时刻的生化需氧量成正比。

应当指出，这里所说的有机物是指可以作为微生物食料的有机物，也就是可以进行生物氧化的有机物。这种有机物称为可分解有机物。

(2) 耗氧量 耗氧量表示利用化学氧化剂氧化有机物所需的氧量，单位也以单位体积废水所消耗的氧量（毫克/升）来表示。当用重铬酸钾作为氧化剂时，所测得的耗氧量常称为化学需氧量或化学耗氧量（以符号 COD 表示），而用高锰酸钾作为氧化剂测得的耗氧量则称为高锰酸钾耗氧量或简称耗氧量（以符号 OC 表示）。

废水的耗氧量愈高，表示所含的有机物愈多。

(3) 耗氧量与生化需氧量的比较 生化需氧量基本上能反映出有机物进入水体后，在一般情况下氧化分解所消耗的氧量（反映了能被微生物氧化分解的有机物的量），所以比较符合实际情况，在卫生上可以较为直接、较为确切地说明问题，缺点是完成全部检验需时五天，对于指导生产实践，不够迅速及时，且毒性强的废水可抑制微生物的作用而影响测定结果，有时甚至无法进行测定。化学需氧量几乎可以表示出有机物全部氧化所需的氧量，它的测定不受废水水质的限制，并且在2~3小时内即能完成，缺点是不能反映出被微生物氧化分解的有机物的量。高锰酸钾耗氧量的优点是测定所需时间最短，缺点是在一般的测定条件下只能氧化掉一小部分有机物，并且也不能表示出微生物所能氧化的有机物的量。所以，一般说，在废水处理工作中，以采用生化需氧量作为有机物的指标较为合适，但在没有条件或受到水质的限制而不能作生化需氧量测定时，可用化学需氧量代替。

如果废水中各种有机物的相对组成没有变化，那末，耗氧量和生化需氧量之间应有一定的比例关系。一般说， $COD > \text{第一阶段} BOD > BOD_5 > \text{高锰酸钾耗氧量}$ 。

化学需氧量和第一阶段生化需氧量两者之差约略表示没有被微生物分解的有机物。

3. 悬浮物 废水中的污染物质，根据它的物理性状，可分为可沉物及漂浮物，胶体物和溶解物等几类。在水质分析中，则常用过滤的方法将杂质分为悬浮物●和溶解物（截留在滤纸上的为悬浮物，能通过滤纸的为溶解物），这时胶体物的一部分就包括在悬浮物内，另一部分包括在溶解物内。悬浮物会阻塞土壤的空隙，形成河底淤泥等，但其中很多也是有用物质，一般可用简单的方法，如筛滤、沉淀等，使它们与废水分离。

沉淀设备中悬浮物的去除百分率是衡量沉淀效果的重要指标。

沉淀设备中沉淀下来的物质，如果主要是有机物质，常称为污泥，如果主要是无机物质，则称为沉渣。

污泥所含水量，常以含水率表示，即单位重量污泥所含水的重量百分数。因为污泥含水率一般都很大，比重接近于一，所以可以认为污泥的体积和其中固体物质含量的百分率成反比。如含水率 p_1 （%）的污泥体积为 V_1 ，则含水率减少到 p_2 （%）时，其体积 V_2 可按下式求得：

● 在水质分析中，有时把悬浮物称为悬浮固体，溶解物称为溶解固体，而总固体则包括悬浮固体和溶解固体。

$$V_2 = V_1 \frac{100 - p_1}{100 - p_2} \quad (1-1')$$

沉渣一般含水较少，渣粒或渣块较大、较重，比重大于一，所以通常以湿度表示其中所含的水量。湿度是指单位体积沉渣所含的水的体积百分数。沉渣的湿度、比重、重量与体积的关系，可以用下式表示：

$$V = \frac{G}{r} \cdot \frac{100}{100 - p} \quad (1-2)$$

式中 V ——沉渣体积（米³/时）；
 G ——干渣重量（吨/时）；
 r ——干渣单位体积重量（吨/米³）；
 p ——沉渣湿度（%）。

当湿度从 p_1 变到 p_2 时，沉渣体积仍可假定和其中固体物质的含量百分数成反比。

4. 溶解物 一般说，溶解物愈多，水中所含的盐类也愈多。溶解物的测定对于某些处理方法的选择有一定的重要意义，例如，采用离子交换法处理废水时，水中所含盐分如特别多，将大大增加离子交换剂的再生次数，有时甚至使离子交换法不适用。有些工业废水中还含有溶解性气体，如 H_2S 、 CO_2 等。

5. pH值 pH值也是污染指标之一。生活污水一般呈弱碱性。某些工业废水的pH值变化极大，应充分掌握其变化规律。强酸性的废水对混凝土管道有腐蚀作用。pH值对水中生物及细菌的生长与活动也有影响，因而会影响废水生物处理和水体自净[●]的过程。

6. 油脂 油脂类物质排入水体后，将漂浮在水面，形成一层薄膜，阻止大气中的氧气溶于水，从而影响水体的自净作用。油脂含量多时，也会影响某些处理设备的正常运行。当废水含油量较高时，还应当考虑油脂的回收和利用。所以油脂的测定也有一定的重要意义。

7. 颜色 色素虽然不一定有害，但带有颜色的水容易使人厌恶，因此也是一个重要的污染指标。遇到有色废水时，首先应查明颜色的来源及其浓度，并考虑染料的回收，必要时，考虑利用其他没有颜色的废水或天然水体加以稀释和采用化学或生物学的方法进行处理。

8. 温度 测定废水的温度，也很重要。据此可以确定在回收或处理之前是否需要冷却或加热。

9. 细菌 生活污水和某些工业废水中含有大量细菌。大部分细菌是无害的，但其中可能有对人体健康有危害的病原菌。生活污水中可含有引起肠道传染病的细菌和寄生虫卵。制革厂废水中常含有炭疽菌，这类细菌极难杀灭，应加以适当处置。

以上是废水分析的一些主要项目，其中以有毒和有用物质，生化需氧量或化学需氧量，悬浮物，pH值等几项更为重要，究竟分析那些项目可根据具体情况决定。

最后应当指出，^c废水的数量也是确定处理与利用方法的基本依据。废水量一般是按米³/日或米³/时计算。假如废水不是连续产生的，则应查明每次产生的废水量及其持续的时间。

● “水体自净”详见下章。

第三节 工业废水特征

工业废水所含的成份比较复杂，多半具有危害性，而且各种工业废水的水质和水量相差很大。

棉纺厂废水含悬浮物仅200~300毫克/升，而羊毛厂废水的悬浮物可达20000毫克/升。制碱厂废水的五天生化需氧量有时仅30~100毫克/升，而合成橡胶厂废水的生化需氧量可达20000~30000毫克/升。金属加工厂的废水一般是酸性的，而制革厂所排出的则是碱性废水。有些工业废水中含有重金属盐类(包括汞、铜、铬等)、硫化氢、氰、砷、酚和放射性等有毒物质，如氰化钠车间所排出的废水中含氰浓度达300~5000毫克/升，乙醛生产废水中含汞10~20毫克/升，有些工业废水，如食品工业废水，则含有大量肥料物质。有些工业废水，如生物制品厂、制革厂、洗毛厂和屠宰场等的废水，被大量细菌(包括病原菌)所污染。印染厂、染料厂排出的废水又往往带有各种颜色，会严重影响水体的物理性状。

一种工业废水往往含有多种成份，我们常以其中含量较多的某一种成份或毒性较强的某一种成份来命名这种废水。例如，焦化厂所排废水中含酚、氨、氰化物、硫化物等，其中所含酚量较多，而且危害性也大，所以这种废水常被称为含酚废水。

表1-1所列，是一些工业废水中含有的主要有害物质。表1-2是几种重要工业废水的主要化学组成，列为参考。

工业废水中的有害物质

表 1-1

有 害 物 质	废 水 主 要 来 源
游 离 氯	造纸厂，织物漂白
氨	煤气和炼焦，化学工厂
氰 化 物	烟气的净化，玻璃制品
氰 化 物	有机玻璃，丙烯腈合成，制造煤气，电镀
汞	氯碱制造，炸药制造，农药制造，医用仪表
镉	有色金属冶炼
硫 化 物	织物硫化染色，皮革，煤气，粘胶纤维
亚 硫 酸 盐	纸浆工厂，粘胶纤维
酸	化学工厂，矿山，钢铁、铜等金属酸洗
碱	化学纤维工厂，制碱厂
油	石油炼厂，纺织厂，食品加工厂
酚	煤气和焦化厂，化学工厂，合成树脂厂，染料厂，制药厂
醛	合成树脂厂，青霉素药厂，合成橡胶厂，合成纤维厂
放射性物质	原子能工业，放射性同位素实验室，医院，疗养院

一些工业废水的主要化学组成

表 1-2

生产名称	有害物 质(毫克/升)				悬 浮 物 (毫克/升)	五天生化 需 氧 量 (毫克/升)	化学需氧量 (毫克/升)	氨 氮 (毫克/升)	pH值
	酚	氰化物	硫化物	其 他					
石 油 厂									
(1)原油加工厂	—	—	100~200	油800~41500	50~250	200~250	—	—	7~8
(2)人工石油厂 (油母页岩)	200~260	0.2~0.9	150~500	油200~1430	60~1500	—	5700~7000	1780~1840	7.5~8.5
煤 气 厂	500~700	15~30	50~100	—	200~400	—	—	2000~3000	6~9
炼焦化学厂 (焦化厂)	913~1690	1.5~3.0	5.4	—	46~58	1420~2070	5245~7778	1634~1968	8~9
制 革 厂	—	—	—	—	70~13700	220~2250	—	—	6~12
造 纸 厂	—	—	—	—	634~1528	—	2077~2767	0.5~2.1	8.8~10.2
腈纶生产									
(1)饱和塔	—	—	—	丙烯腈 2.3~17.5 乙 腈 20~90	—	680	1856	—	1~5
(2)解析塔	—	—	—	丙烯腈 7.1~26.8 乙 腈 545~834	—	815	2660	—	5~6
印 染 厂	—	—	7.4	—	142.5	350	1100	7.7	9~12
化学纤维厂									
(1)酸性废水	—	—	—	—	63	50	108	—	2.2
(2)碱性废水	—	—	—	—	107	180	211	—	12.5
氮 肥 厂	—	—	—	砷0.1~0.8	200~320	—	—	—	6.5~7.5
屠 宰 场	—	—	—	—	—	1707	—	90	7.8

第四节 生活污水特征

生活污水水质比较稳定，肥效高，一般不含有毒物质，但所含有机物较多，卫生情况较差。

生活污水的pH值一般在7~8之间。

国内若干地区生活污水的分析结果

表 1-3

项 目	单 位	北 京	上 海 (曹阳新村)	西 安	武 汉
pH值		7.4~7.7	7.31	7.3~7.9	7.1~7.6
悬 浮 物	毫克/升	50~327	320.7	—	66~330
氨 氮	毫克/升	25~45	47.1	21.7~32.5	15~59.3
五天生化需氧量	毫克/升	90~180	360	—	320~338
氯 化 物	毫克/升	124~128	141.5	80~105	—
耗 氧 量	毫克/升	30~88	—	—	52~64
磷	毫克/升	30~34.6	—	—	—
钾	毫克/升	17.7~22	—	—	—

生活污水极适于各种微生物的繁殖，因此含有大量的细菌（包括病原细菌）。生活污水中也常含有大量的寄生虫卵。

表1-3所示，是我国一些地区生活污水分析的平均结果。表1-4所示，是北京、上海、天津、西安等十一个城市生活污水中所含肥效浓度的平均数字，可供参考。

医院、疗养院等的废水往往含有大量病原菌以及某些有毒物质。

生活污水所含肥效浓度				表 1-4
项 目	总 氮	氨 氮	磷	钾
平均浓度(毫克/升)	39.8~45.1	17.2~30.1	8.5~18.2	13.1~20.6

思 考 题

- 1.试分别指出工业废水和生活污水的特征。
- 2.控制工业废水处理的主要水质指标有哪些？其测定意义如何？
- 3.有机物的生物氧化过程一般分两个阶段进行。这是指那些有机物来说的？对于不含氮有机化合物情况是怎样呢？为什么以五天作为标准时间所测得的生化需氧量（BOD₅）已有一定的代表性？
- 4.根据某污水处理厂的统计，每人每天所排BOD₅为25克，假定每人每天排水量为 80 升，求污水的BOD₅浓度（单位以毫克/升表示）。
- 5.科学实验表明，对于一般的有机废水， $T^{\circ}\text{C}$ 时的第一阶段生化需氧量 L_T 与 20°C 时的第一阶段生化需氧量 L_{20} 有如下的关系：

$$L_T=L_{20}(0.02T+0.6)$$

某工业区生产废水和生活污水的混合废水的BOD₅为300毫克/升，试分别估计此废水 10 $^{\circ}\text{C}$ 和30 $^{\circ}\text{C}$ 的第一阶段生化需氧量。

生化需氧量间接表示废水的有机物浓度，废水中有机物的量是一定的，为什么第一阶段生化需氧量随着温度的不同而发生变化？

- 6.含水率为99%的活性污泥，浓缩至含水率97%，其体积将缩小多少？

第二章 水体污染、自净及防护

第一节 水 体 污 染

随着工业生产的迅速发展，工业废水的数量日益增多，性质也愈来愈复杂。它们不经处理直接排放至水体，必将引起水体严重的污染，因而造成各种危害。例如，有毒物质氟、汞、铬、酚、醛等会被人体和生物吸收而使机体受毒；大量有机物和某些无机物（如硫化物、亚硫酸盐等还原物质）排入水体后，使水中溶解氧显著下降，甚至完全缺氧，因而影响鱼类生活，并使有机物腐化，产生臭气；含某些无机物的废水排入江、河后，会使水中硬度或含盐量增高，若用这种废水灌溉农田，将使土壤发生盐碱化；还有印染、造纸等废水可将水体染成各种颜色等等。

在资本主义国家，由于工业生产的无政府状态及资本家唯利是图，不顾人民死活，近年来工业废水、废气、废渣已经泛滥成灾，成为威胁人民健康、生命安全和破坏工农业生产的社会公害。据国外报刊的报道，现在美国每天排出废水四亿多吨，全国主要河流几乎全遭污染，五大湖也已成为毒湖，伊利湖湖水银含量超过卫生标准十四倍，不仅鱼类全部灭绝，甚至虫类也不多；美国海洋的污染也很严重，沿海渔业生产已受到极大影响，如英格兰区的鳕鱼产量，1963年为2270吨，1969年降到4.5吨；旧金山湾原来每年可产大量蚝肉、蛤蜊肉，现因海水污染已绝迹。在日本，河流和近海地区的污染也特别严重，日本列岛近年来已变成“公害列岛”。由于饮水、食物中含有汞、镉等有毒物质，不少人得了“水俣病”、“骨痛病”等严重疾病；连接田子浦港的两条河，原来鱼产丰富，水流清澈，但自从在这里建立造纸工业以来，这些河流变成了造纸厂的排水道，大量污染物质的排入使河水腐化，恶臭难闻，鱼和水中生物成批死亡，并且由于废水中所含悬浮物的沉淀，港内水深减为原来的三分之一，因此造成货船搁浅，港口已不能使用；占日本捕鱼量四分之一的沿海渔业资源大部分也已受到破坏，不少日本特产，如鲈鱼，樱虾等几乎已经绝迹。“三废”公害激起了人民的强烈反抗。因此，一些资本主义国家近年来也开始重视环境保护工作，采取了一些环保措施，进行环保新工艺、新技术的研究。

在我国社会主义工业化的发展进程中，也同样遇到了工业废水污染水体这个新问题。由于刘少奇、林彪、“四人帮”修正主义路线的干扰和破坏，我国某些地方工业废水的危害也相当严重，例如，黑龙江淡水鱼年产量大幅度下降，武汉曾出现过工业废水造成上千亩稻田大量减产的现象。但是，在毛主席革命路线的指引下，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，我国工人阶级和广大革命人民，遵照毛主席“一切从人民的利益出发”的教导，大搞三废综合利用的群众运动，变废为宝，除害兴利，已经创造了不少成功的经验，取得了可喜的成绩。例如：黑龙江省的嫩江，过去有大量工业废水排入，鱼产量曾大幅度下降。近几年来，组成了“三结合”综合治理小组，提出了“分散回收、综合利用、集中贮存、保护嫩江、灌溉农田、变害为利”的综合治理方案。全市工矿企业展开了分散回收

的活动，大搞技术革新，工艺改革，并从有毒废水中回收了铬、油、酸、碱、纸浆、白银等大量物资，同时，还修建水库，开挖明渠，引污水灌溉农田，收到了除害兴利的显著效果。目前嫩江水质已大大改善，溶解氧大幅度增高，捕鱼量逐年增加，引用污水灌溉不仅消除了污水对江水的污染，而且使农作物得到增产。治理嫩江的经验表明，在我们社会主义国家里，在党的领导下，充分发动群众，坚持自力更生，艰苦奋斗的精神，做到废水综合利用和处理相结合，是一定能够收到除害兴利的显著效果的。

当前，“治三废，除公害”的群众运动正在我国各地蓬勃开展，有关的科学研究工作也在深入进行，我们有决心、有信心，坚决贯彻执行毛主席的革命路线，充分发挥社会主义制度的优越性，变废为宝，除害兴利，为全国人民着想，为子孙后代造福。

第二节 水 体 自 净

废水排入水体会造成严重的危害。但从另一方面看，水体也有一定的净化废水中污染物质的能力。

水体受到废水污染后，逐渐从不洁变清的过程，称为水体的自净。水体自净的过程十分复杂，受很多因素的影响。稀释是最重要的因素，所以常把废水泄入天然水体称作稀释法。数十倍、数百倍的天然水稀释了废水，就使废水中各种杂质的浓度大大降低。其次，水体中悬浮物的沉淀，也降低了水中杂质的浓度。再次，在微生物的作用下，有机物逐渐氧化，无机化，使水中有机物含量逐渐降低，但同时消耗溶解氧。溶解氧从大气得到补充，也从水生植物的光合作用^①得到补充。此外，由于环境的变化，使粪便等污水中带来的人体寄生细菌（包括病原菌）逐渐死亡。这样，水体逐渐恢复到原来的清洁程度。但应当指出，如废水中所含污染物过多，则将严重影响水体的自净作用，造成恶劣的自然环境。

从控制水体污染的角度看，水体对废水的稀释（特别是对有毒物质的稀释），水体中溶解氧的变化规律和细菌的死亡规律是水体自净的主要问题。溶解氧含量对水中生物的生长繁殖有重要影响。细菌含量对水体的卫生品质影响也大。

一、废水在水体中的稀释

水体的稀释作用与废水和水体的流量以及两者混合的程度有密切的关系。

废水进入河道后，并不能马上与全部河水混合，而是逐渐达到完全混合的。影响混合的因素很多，其中主要的有：

（1）河水流量与废水流量的比值 此值越大，完全混合所需的时间就越长。

（2）废水排放口的形式 如废水在岸边集中一点排入河道，则达到完全混合所需的时间较长。如废水是分散地排放于水体中，则达到完全混合所需的时间较短。

（3）河流的水文条件 如河道的深度、河床的弯曲状况、水流的速度以及是否有急流等因素。

显然，在没有达到完全混合的河道截面上，只有一部分河水参与了对废水的稀释。参与混合的河水流量与河水总流量之比称为混合系数：

① 植物具有叶绿素能利用光能，同二氧化碳合成有机物质，并放出氧气。

$$a = \frac{Q_1}{Q} \quad (2-1)$$

式中 a ——混合系数；

Q_1 ——参与混合的河水流量；

Q ——河水总流量。

在完全混合的河道截面上及其下游，混合系数 $a = 1$ ，因为这时全部河水参与了对废水的稀释，而从排放口到完全混合面的一段距离内，只有一部分河水与废水相混合，所以系数 $a < 1$ 。

废水被河水稀释的程度用稀释比 (n) 来表示，它是参与混合的河水流量与废水流量的比值：

$$n = \frac{Q_1}{q} = \frac{aQ}{q} \quad (2-2)$$

式中 q ——废水流量；

Q_1 、 Q 、 a ——同前。

在实际工作中，究竟采用河水的全部流量还是部分流量进行计算，须对具体情况，作具体的分析。在一般情况下宜考虑部分流量计算（即采用 $a < 1$ ）。例如，根据经验，对于流速在 0.2~0.3 米/秒的河流，可取 $a = 0.7 \sim 0.8$ ，河水流速较高时， $a = 0.9$ 左右，河水流速较低时， $a = 0.3 \sim 0.6$ 左右。如果在排放口的设计中，采取分散式的排放口或将排放口伸入水体或把废水送到水流湍急的地方，以及在个别情况下，可以考虑采用河水的全部流量，即 $a = 1$ 进行计算。

应当指出，在湖泊和海洋中，水流迟缓，紊流扩散作用不如河流，并且近海地区还受到潮汐的影响，废水泄入之后，一般不能迅速同湖水或海水混合。由于废水水温较高，含盐较少，它常易浮在湖泊或海洋的表面，然后向四周扩散，逐渐为湖水、海水所稀释。废水在湖泊或海洋中稀释和混合的规律的研究已做了不少工作，但因影响的因素复杂，还有待进一步分析。一般说，为了能使废水和湖水或海水较好地混合，应把排放口伸入水体中，并采取分散式的排放口。

二、水体中氧的消耗与溶解

废水进入水体后，除得到稀释外，其中的有机物还能在微生物的作用下进行氧化分解，这时需要消耗一定数量的氧。当有机物的分解临近完成时，前一阶段的分解产物氨氮化为亚硝酸盐和硝酸盐，也要消耗溶解氧。沉积在水底的淤泥分解时也要从水中吸取氧气。当晚间光合作用停止时，水生植物的呼吸也需要溶解氧。此外，废水中的还原剂（如工业废水的亚硫酸盐等）也要和水中的溶解氧起反应，从而降低溶解氧含量。由于这些原因，水体中的溶解氧经常在消耗着。

上述各个过程所消耗的氧一般有三个来源：（1）水体和废水中原来含有的氧；（2）大气中的氧向含氧不足的水体扩散溶解，直到水体中的溶解氧达到饱和；（3）水体中繁殖的水生植物，白天通过光合作用放出氧气，溶于水中，常可使水体中的氧达到过饱和状态。因此溶解氧在被消耗的同时，又逐渐得到了补充、恢复。

显然水体中溶解氧的变化是十分复杂的。就河流而言，当接纳废水的时候，排放口（受污点）下游各点的溶解氧的变化情况大致是这样的：紧接排放口的各点，溶解氧逐渐

下降（见图2-1），这是因为废水排入后，河水中的有机物较多，它的耗氧速度超过了河流的复氧速度；随着河水中的有机物逐渐氧化分解，耗氧速度逐渐降低；在排放口下游某处终于出现耗氧速度同复氧速度相等的情况。在这里，溶解氧的量最低，过这一点之后，溶解氧将逐渐上升。这一点称为最缺氧点。再下游，因复氧速度大于耗氧速度，所以河水中溶解氧逐渐恢复上升。如果不再受到新的污染，河水中溶解氧会达到饱和状态。把河流各点的溶解氧含量标绘在坐标纸上（以溶解氧为纵坐标，以流程，即各点离排放口的距离为横坐标）可以得到类似图2-1所示的曲线。这条曲线呈下垂状态，叫做氧垂曲线。图2-1是在比较理想的条件下所得到的，条件不同，曲线的形状可有一定的出入，但总的趋势还是一样的。

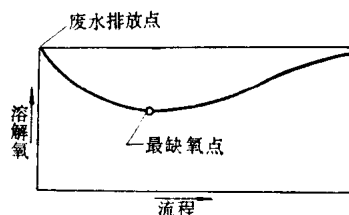


图 2-1 氧垂曲线

如果河流的污染量（受到有机物污染的量）低于它的自净能力，这条氧垂曲线最缺氧点的溶解氧将大于零，整条河流的溶解氧也将大于零，河水始终呈现有氧状态，反之，靠近最缺氧点的一段河流将出现无氧状态。

应当注意，由于受污量和河流的水文、气候条件都是有变化的，所以河流的氧垂曲线不是稳定的，最缺氧点的位置也是有变化的，有时向上游移，有时向下游移。

从实践中知道，河流的复氧是缓慢的。一般说来，河流受到废水的污染以后，在溶解氧再次饱和之前常常又受到下游工业区或城镇的污染。所以，在人烟稠密或工业地区，河流中的溶解氧很少是饱和的。

目前，排水工作者对于河流中氧的变化规律已进行了不少研究工作。有的从理论上分析着手，得出所谓氧垂曲线的理论方程式，有的着重经验方法，其目的都是要解决如何根据现有污染情况来推断未来情况。由于这个问题的很多因素决定于当地情况，因此在理论分析中必然会出现一些系数或常数，这些系数或常数需要由实测决定。

三、水体中细菌的死亡

在研究水体污染和自净现象时，除稀释和溶解氧变化的规律外，细菌死亡的规律也是重要的。含有一般有机物的废水排入水体后，水体中的细菌开始时大量增加，以后就逐渐减少。促使细菌在水体中死亡的原因，主要有以下几方面：

（1）由于水体中有机物的无机化，有机物逐渐减少，这对于依靠有机物生存的细菌是极不利的。

（2）某些物理因素如水温、日光等对细菌生活的影响很大，如水温不适于细菌生活，它们便逐渐死亡。日光具有杀菌能力。

（3）水的某些化学性质对细菌生存也有影响，如pH值和工业废水中的毒质都会影响细菌的生活。

（4）生物的影响。水中有些生物能吞食细菌，因而使水中细菌数目逐渐减少。

在一般情况下，生活污水或性质与生活污水相近的工业废水排入河流后，在12至24小时内流过的距离是最大的细菌污染地带，以后细菌数目便逐渐减少。如果没有新的污染，三天后细菌数目一般不超过最大量的10%左右。但应注意，细菌数目减少得较快，并不说明有机物或其他有害物质的含量已经大大降低。