

The background of the entire cover is a high-magnification micrograph of activated sludge. It shows a dense population of microorganisms, including numerous rod-shaped bacteria and larger, more complex flocs. The colors are primarily shades of brown, tan, and grey, with some darker spots. The texture is highly irregular and granular.

污水生物处理和水污染控制

[德] K.马迪克 S.孔斯特 著 中国环境科学出版社

X703
47734

934893

X703
47734

污水生物处理和水污染控制

〔德〕 K.马迪克 S.孔斯特 著

王绍芳 王海 译

第五振军 校

王

中国环境科学出版社

1991

内 容 简 介

本书应用生物学原理,结合污水处理工程技术实践,从理论和实践应用两方面阐述了污水生物处理技术和方法。本书是联邦德国为污水治理应用工程技术人员、理论研究人员和生物学工作者撰写的教科书,对污水污泥的性质、分类、对天然水体及土壤的影响、微生物降解原理、需氧处理及厌氧处理技术等进行了全面论述,既能使工程技术人员获得所需的生物学知识和对污水处理过程有一个全面了解,又能使理论研究人员掌握一定的应用技术。本书内容充实新颖,论述深刻,哲理性强。

本书供从事水污染处理及控制的工程技术人员、科研人员、生物学工作者、工矿企业环保人员阅读,尤其可作为大专院校有关专业教学参考书。

K. Mudrack S. Kunst

Biology of Sewage Treatment and
Water Pollution Control

Ellis Horwood Limited

污水生物处理和水污染控制

〔德〕K.马迪克 S.孔斯特 著

王绍芳 王 海 译

第五振军 校

环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

北京朝阳区新源印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1991年10月 第 一 版 开本 850×1168 1/32

1991年10月 第一次印刷 印张 6 1/2

印数 1—3 000 字数 186千字

ISBN 7-80010-993-3/X·471

定价: 3.60元

译者的话

随着我国工农业生产和城市建设的迅速发展,人口的迅速增加和人民生活水平的提高,城乡污水排放量日益增多,致使江河湖海受到严重污染,生态环境受到严重破坏。据1985年统计,我国污水年排放量已达234亿t,日排放量近1亿t。预计到2000年我国污水年排放量将达到790亿t,这势必将对生态环境产生更加严重的威胁。

近几年来,我国在废水治理方面有了一定的发展。1989年与1980年比较,废水处理率由9.3%提高到29.8%,废水处理达标率由26%提高到47.7%。但整体来讲,我国的废水处理水平还很低,工程技术水平还比较落后。尽管如此,实践已经证明,污水生物处理不仅工程设计简单,投资费用较低,而且净化效率高。

我们翻译本书的目的正在于向我国学者和有关专业人员介绍联邦德国有关污水生物处理和水污染控制方面的先进技术和经验。本书是联邦德国为工程技术人员和生物学工作者撰写的一本教科书。作用应用生物学原理,结合污水处理工程技术实践,从理论和实践应用两方面阐述了污水生物处理技术和方法。本书致力使工程技术人员获得所需的生物学知识和对污水生物处理的生物学过程有一个全面了解,又使从事理论研究的生物学工作者掌握一定的工程应用技术。书中介绍的某些方法已作为常规方法得到广泛应用,有些新技术、新工艺在我国还未应用。本书实用性强,内容充实新颖,论述深入浅出,哲理性强,它将为我国水污染处理及控制提供有益的借鉴。

本书第一、九章由王海同志翻译。第二、三、四、五、六、七、八章由王绍芳同志翻译。第五振军同志对全书进行了审校。在翻译过程中对本书原文个别明显的疏误做了修正,加了脚注。

书中大部分生物学名译出了中文名,个别保持了拉丁学名。由于译者水平和专业知识所限,肯定还会存在一些翻译上的错误,敬希读者指正。

译 者

1990年12月

前 言

在给土木工程学和生物学的学生授课期间，以及在短训班上给从事水处理工程的专业工程师们进行专题讲座时，对有关污水生物学处理教科书的需求越来越大。与生物学和工艺学的文献相比，有关污水的技术文献是非常有限的。

经过一段时间的犹豫，作者接受了Messrs G. Fischer-Verlag 的邀请，承担了为工程技术人员和生物学工作者撰写这样一本教科书的任务。所遇困难不仅在于该学科的复杂性，而主要在于必须以易懂的方式向工程技术人员讲解生物学原理，向生物工作者解释所需要的技术工程。

我们感谢 Frau D. Tepfer 进行清图工作，感谢 Frau K. Mudrack 和 M. Hartwig 辛勤的秘书工作。

K. 马迪克

S. 孔斯特

目 录

1. 绪论	(1)
2. 底质污水和污泥	(3)
2.1 污水性质及种类	(3)
2.1.1 废水的分析方法和污水处理方法的描述	(4)
2.1.2 各种类型废水的描述	(10)
2.2 污水污泥的性质及分类	(14)
2.2.1 不同特征类型的污水污泥分析方法	(15)
2.2.2 各种类型污水污泥的描述	(15)
3. 污水和污泥对天然水体及土壤的影响	(17)
3.1 污水排放对天然水体的影响	(17)
3.1.1 静止水	(17)
3.1.2 流动水	(23)
3.1.3 沿海水	(24)
3.2 污水和污泥沉积对土壤的影响	(26)
4. 微生物学原理	(29)
4.1 代谢控制机理	(29)
4.1.1 酶促动力学和反应机理	(29)
4.1.2 连续培养条件下的生长动力学	(36)
4.1.3 生物难降解物概念——污水生物处理中 酶促过程举例	(38)
4.2 需氧分解的代谢过程	(43)
4.2.1 碳水化合物分解	(45)
4.2.2 脂肪分解	(48)
4.2.3 蛋白质分解	(49)
4.3 厌氧分解中的代谢反应	(50)

4.3.1	水解和产酸细菌	(53)
4.3.2	产乙酸细菌	(56)
4.3.3	产甲烷细菌	(58)
4.3.4	厌氧分解所要求的环境条件和限制速率 步骤	(61)
5.	生活污水和雨水的运移及聚集	(62)
5.1	下水道系统的重要性	(62)
5.2	下水道系统的构造模型和运转	(62)
5.3	下水道网络中的生物学反应	(63)
6.	污水和污泥的需氧处理过程	(68)
6.1	一般原理	(68)
6.2	滴滤池	(72)
6.2.1	滴滤池——固定床反应器	(72)
6.2.2	容积负荷量和洗脱能力对滴滤池的重要 性	(73)
6.2.3	滴滤池中的有机体	(77)
6.2.4	滴滤池内的硝化和反硝化作用	(80)
6.2.5	滴滤池用于生物处理的优缺点	(80)
6.3	活性污泥过程	(82)
6.3.1	曝气池和具有部分生物量循环的发酵罐	(82)
6.3.2	决定活性污泥体系效能的参数——生物 污泥负荷量	(90)
6.3.3	活性污泥生物体的性质	(94)
6.3.3.1	物理化学特性	(94)
6.3.3.2	生物特性	(95)
6.3.3.3	污泥生物(膨胀污泥)中丝状有机体的 生长	(108)
6.3.4	曝气池内生物群落的供氧	(114)
6.3.5	污水中氮的微生物学转化(硝酸化-反硝酸 化)	(119)

6.3.5.1	硝酸化原理	(120)
6.3.5.2	曝气池内的硝酸化过程	(122)
6.3.5.3	反硝酸化作用原理	(125)
6.3.5.4	反硝酸化作用在活性污泥过程中的 应用	(126)
6.3.6	污水生物处理过程中pH值的重要性及其 变化	(133)
6.3.7	单级活性污泥系统的各种构造和操作系统	(135)
6.3.7.1	曝气池中完全混合系统与活塞流动 系统的比较	(136)
6.3.7.2	通过插入惰性支持介质提高曝气池中 生物体的浓度	(138)
6.3.7.3	通过增加液体深度提高氧的溶解性	(139)
6.3.8	先进的三级污水处理过程	(140)
6.3.8.1	含磷化合物的去除	(141)
6.3.8.2	含氮化合物的去除	(143)
6.3.8.3	生物难降解物质的去除	(144)
6.3.8.4	悬浮固体物的去除	(145)
6.3.9	从生物学观点分析活性污泥处理的优缺点	(146)
6.4	污水的多级需氧处理过程	(147)
6.5	氧化塘污水的生物学处理	(150)
6.5.1	原理	(150)
6.5.2	运转特点	(153)
6.5.3	氧化塘的种类	(153)
6.6	污水的陆地处理	(156)
6.7	污水污泥需氧处理	(158)
7.	污水和污泥厌氧处理过程	(162)
7.1	污泥稳定作用的厌氧处理法和需氧处理法在其 主要微生物学和工艺工程特征上的区别	(162)
7.2	厌氧污泥稳定作用的生物学方法(污泥消化)	(163)

7.2.1	过程描述	(163)
7.2.2	消化过程的颠覆和复原	(167)
7.2.3	消化污泥处理	(169)
7.3	污水厌氧处理的生物学过程	(172)
7.3.1	一般考虑	(172)
7.3.2	厌氧污水处理的微生物学特征(一、二级 演示).....	(173)
7.3.3	不同类型的反应器处理情况	(175)
7.4	沼气生产过程	(180)
8.	含可回收物质的浓缩污水生物处理技术.....	(187)
9.	污水生物处理的现状及发展前景.....	(189)
	参考文献.....	(192)

1. 绪 论

工业发展对自然环境已构成严重威胁。由于为了促进工业的发展,不仅需要开采所有种类的矿产资源,而且还需要土壤、水和大气等资源。这种发展致使工业化国家对自然环境缺乏认真的考虑和关注,将自然资源作为可消耗性物质来利用。但是,自然资源是有限的。例如,水不是一种用之不竭的资源,而是与自然界水循环相联,滥用水或污染水必定会使自然界水体遭受破坏。

战后工业生产的回升很清楚地表明了这一点。本世纪50年代和60年代,联邦德国许多地方的天然水体遭受非常严重的污染。许多工厂对排出的废水既没有任何污水处理设备,也没有任何治理方法。许多城镇没有适当的污水处理设施。在最近20年中,水质(反映生物可降解污染物对承受水体的影响程度)开始显示一定程度的改进。由于污水处理厂的建立以及立法机构和工业部门的共同努力,污染物的排放量大为减少。在这方面,已经证明生物处理法不仅工程设计简单,而且它们的净化能力非常有效。

污水工程的目的和应用在于提高生物处理效率,也就是提高去除生物可降解物的比例。在进行污水处理时,人们仅考虑实际可降解物,而评价处理效率正是根据这些可降解物质的去除程度。

可是,近些年来,对改善水质的要求有了改变。就污水处理而言,污水处理厂的作用应该扩大到处理稳定性化学品,而且应该以承受水域的水质来衡量污水处理的效率。

既然如此,我们准备讨论实践已检验过的,各种现行的污水处理方法。相反,我们主要涉及包含在生物处理各阶段内的生物自净力,以及生物自净力的实际利用(可能需要借助物理化学的方法)。

本书对污水进行了全面概述。这包括两个方面，一是被污染物污染了的废水，另一是接收了不同程度处理的污水的各种水体。此外，必须考虑在处理过程中形成的固体（污泥）以及它们对最终受体——土壤的影响。

本书不讨论供饮用的地下水和地表水的生物处理问题及处理方法。虽然它们的有害性和处理方法与上述的污水非常相似，但实际上它们是完全不同的问题。而且，一名工作人员或专业人员几乎不能同时承担这两个领域里的任务。因此，饮水专业的同行们参考本专业的教科书。

本书主要是为应用工程人员和科学家而著。作为生物学家长期与工程师和工厂操作人员合作，使得本书的作者比较了解理论应用方面存在的问题和困难，因而能够沟通理论与实际应用的质疑。当然，科学家们经常遇到有关污水装置的具体问题，装置内进行着生物处理过程，解决这些问题所需要的知识和办法是科学家们以前没有涉及过的。我们这本书介于微生物学和污水工程学两者之间，必须把从纯培养的微生物学上获得的事实和结论应用于污水处理的实践中去。

对于工程人员和科学家们而言，本书力求“尽可能精确，尽可能易懂”。但是容易产生下列问题，对一部分人来说其内容可能太复杂，而对另一部分人来说又可能太简单。

我们试图采取通俗易懂的方法对复杂的污水生物学进行介绍，以易于大多数人接受。因此，我们避免涉及该学科中复杂的问题，而是择其基础的和主要的内容。

该书不准备列举大量数据和设计说明，而是使工程人员对生物处理过程有一全面了解，使理论科学家掌握一定的应用技术。

2. 底质污水和污泥

2.1 污水性质及种类

根据DIN*4945 有关污水的定义,我们定义污水为各种经过使用排放出的水和流入排水系统中的水。这一广义的污水定义清楚地表明污水在质和量上都有较宽的变化范围。水可以被无机物(如盐类、矿物废料和土壤)污染,也可以被有机物(如碳水化合物、脂肪、蛋白质以及它们的降解产物等)污染。按照这一定义,甚至水温升高(例如在冷却塔内)也是一种变化。当雨水流入排水系统时,无论是从屋顶径流下的轻度污染的水,还是在街道、路面径流下的脏水,都属于污水。

根据污水的来源,每天不同的时间、一年中不同的季节以及其它因素,污水的量有很大的变化。生活污水不同于屠宰场或化工厂排出的污水。白天污水的浓度和流量都比夜间大。滨海游乐区排放污水的质和量在夏天与冬天就有很大差别。在湿润季节,污水的数量增加而浓度降低。

在实际应用中,不同类型的污水用专业术语描述。下面简述这些术语定义(详细定义见DIN4045)。

未经处理的污水(Raw sewage) 进入污水处理厂的污水。

脏水(Foul sewage) 家庭生活、商业区和工业排放的废水(见2.1.2节)。

暴雨污水(Storm sewage) 暴雨径流。

渗透水(Infiltration water) 流入污水系统的污水或其它水,例如:渗漏的地下水、非正式下水道或暴雨水流,以及流入

* DIN, 德国工业标准缩写——译者注。

下水道的地表水（例如经过人孔盖）。

混合污水（Combined sewage）脏水、暴雨污水与任何渗透水的混合物。

当然，这些术语本身不足以更详细地表明污水的成分或浓度，或指出污水经过污水处理厂后性质上的变化。欲达到这样的目的，就需要分析数据。而这些分析数据必须用物理的、化学的和生物的方法来获得。由于这些方法与污水处理过程的特定条件和有关问题相关联，所以本节不进行深入讨论。

2.1.1 废水的分析方法和污水处理方法的描述

分析方法是对特定底物和处理废水进行描述和研究的工具。因此，分析方法必须与所处理的问题相一致。在公共水源管理领域里，采用的方法大体可分为三类。

生物污水处理厂的设计、运转和控制的分析方法

这些方法必须尽可能地表示总污染负荷，简便易行，而且迅速提供精确的数据。这些方法基本上由污水总活性或物质成分的各种参数决定。

确定污水和污泥中污染物含量的分析方法

此时，必须精确测定某些特定成分（例如镉，铜，杀虫剂，卤化烃），通常这些成分浓度很低。为此，需要比较复杂的分析仪器和经过专门训练的试验室工作人员。

研究各种污染物中微生物代谢过程的分析方法和处理方法

这些方法必须适用于特定的生物代谢过程，而且能够进一步区分以大容量表示的各种物质。例如，要能够区分开河流中脂肪酸挥发物的不同组分。

为了这一目的，采用了许多微生物学和药物学中常用的方法。如气体气相层析，液体气相层析和多种酶促方法。采用这些方法要与特定环境的污水分析相匹配。

鉴于本书主要涉及生物处理系统，有必要讲述属于第一类的一些分析方法。有关第二类和第三类的一些复杂分析方法超出了

本书的范围。

对分析方法的要求是快速提供正确数据，而且不需要过多的实验室工作。在污水分析领域里，这些要求是不容易达到的。因为污染物的实际成分以惊人的速度和不可预见的方式在数量和质量上可能发生变化。分析过程中干扰可能发生，而这些干扰的影响不能被认识或加以说明。一个特别棘手的问题是所研究的某污水的总污染负荷的评价，因为这是由各种不同组成成分叠加而成的，而且只根据一种物质（如氯化物或葡萄糖）或一类物质（如蛋白质或脂肪）不能确定总污染水平。因此，很有必要采用综合污染影响评价方法，以满足污水处理技术的需求。当然，为某些目的，对特定成分（如磷酸盐、氨或金属类）可以分别测定评价。

这些分析方法，在各种专业教科书中都有详细描述。国家标准方法已发表在 DIN38404-38414，下面的几部分就是这些方法的总结。

物理和物理化学参数

颜色，混浊度，气味，pH 值，温度，电导率，紫外线吸收率等等。

阴离子：如 SO_4^{2-} ， Cl^- ， NO_3^- ， PO_4^{3-}

阳离子：如 Fe^{2+} ， Fe^{3+} ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， Hg^+ ， Cd^+ ， NH_4^+

污染效应的综合评价

为了确定污水样品中非溶解性沉淀固体物，样品经过2h沉淀后，测定沉淀物的体积分数（ml/L）和沉淀物的重量浓度（mg/L）。如果需要确定非溶解性的非沉淀的固体物，则过滤一定量的污水，得到可过滤物质的量（mg/L）。非沉淀可溶固体物的确定有多种方法（非沉淀可溶固体物在城市污水中占总污染的2/3）。为此，人们通过测定把有机污染物进行化学或微生物氧化作用转化成无机终产物的需氧量，来确定有机污染物含量（mg/L O_2 ）。在实际中广泛应用下列各种方法，因此，在此较详细的描述。

五日生物化学需氧量（ BOD_5 ）

这一方法是在20℃有氧条件下测定的微生物氧化污染物质五天用掉的氧量。然而这个简单方法存在如下问题：

——氧消耗只有在外界存在多种多样的细菌群落(生物群落)的条件下，并且有基本无机营养物(如磷、氮化合物)给予保证的条件下进行。然而、工业污水不具备这些条件。因此，必须向污水样品中注入细菌悬浮物，加入营养盐类。

——如果污水中含有抑制微生物的物质，如过高的 pH 值、消毒剂或重金属盐类，那么就要消除这些物质(如用中和反应)，否则就不能用此方法。因为这些物质干扰测定，使 BOD 值偏低。

——BOD 测定有各种不同的方法，由于它们具有各自的特性，测定的结果不是完全一致，但是都能得到正确的结果。下面简述各种方法。

稀释法，充氧水稀释污水，使之在五天中耗氧量保持在1~8mg/L 的范围。由于起始温度为 20℃，水溶液中氧为 9mg/L，五天后的结果是耗氧最小值仅为 1mg/L，剩余氧的最小值为 1mg/L。

对于未知污染程度的污水样品，要稀释到所需的浓度常常是困难的。在稀释过程中，存在于污水中的毒素或抑制剂同时也得到稀释，结果这些毒素的浓度可能会降低到被检测的极限值之下，以致于用这种方法检测不出这些物质的存在。另外，这种方法基于这一假设之上即：氧吸收正常进行，在20℃残留有机含碳化合物每日还原20.6%，铵离子的硝化作用五天后才开始，也就是说，没有包括由于硝化作用而消耗的氧(图2-1)。

由于五天后仅进行单个测定，因而，人们无法知道耗氧曲线是否正常。这样就潜在着两种误差根源。由于抑制剂作用，或缺乏适应特定成分的微生物群落，氧消耗可能在很长的停滞期之后才开始发生。那么五天后测定的吸收值太低。另外，如果污水中除许多硝化有机物外还存在铵类化合物，那么，硝化作用可能提前开始，结果由于硝化作用，将发生额外的氧消耗。按照 BOD 定义，只能是含碳化合物的氧化作用，硝化作用的结果使测定值

太高。为了排除后一种可能性，在稀释水中加入硝化作用抑制剂烯丙基硫脲。

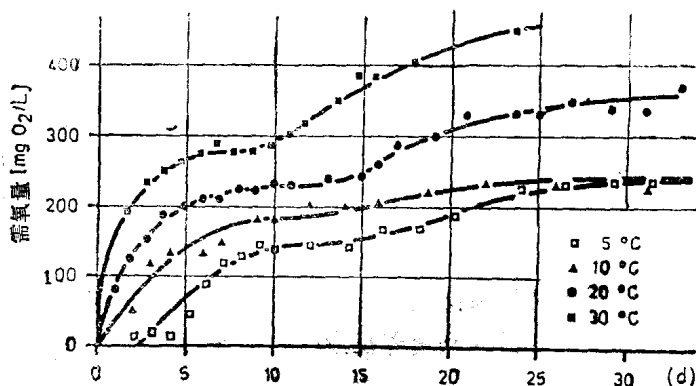


图 2-1 不同温度下污水耗氧 (BOD) 曲线
(引自Hartmann, 1983)

测压法测定BOD时，记录未稀释污水的氧消耗。污水样进入容器，容器上部预留空间有充分的氧，容器内有吸收二氧化碳的碱。氧消耗的结果，容器内产生压力降，用测压法测定压力降。根据气体定律，即在常温下，压力变化依赖于移出的气体体积，因此，有可能通过改变容器内上部预留空间的体积或改变进入容器的水量而改变测定范围。

实际上，对于不同的填充体积，使用特定系数。这些系数使压力计读数成倍增加。例如压力计刻度范围0~35，使用系数1, 2, 5和10，读数范围分别扩大为0~35, 0~70, 0~175和0~350mg BOD/L。

在许多测压计反应瓶中，可利用的氧仅限于反应瓶的液面上预留空间内的氧。如果污水样品耗氧量大于可利用的氧量，就会产生误差。所以，必须在实验开始时，对污水样品的浓度有一个大致的了解，以便实验顺利进行（可采用稀释，降低其污水浓度）。