

污水的生物处理

[日] 洞 沢 勇 著

张 自 杰 译

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

污 水 的 生 物 处 理

[日] 洞 沢 勇 著

张 自 杰 译

中国建筑工程出版社

本书对污水生物处理的基础知识和各种处理原理、设计与运行，以及对污水的三级生物处理和温度对生物处理的影响等都作了比较系统而简要的阐述。其主要内容有：生物处理法的基础和类型、稀释处理法、生物稳定塘、土地灌溉法、生物过滤法、生物转盘、接触氧化法、活性污泥法、曝气式氧化塘、厌气处理、三级生物处理、温度对生物处理的影响及其对策、污水中氮及磷的去除等。

本书供从事污水处理的设计和运行管理人员及大专院校有关专业师生参考。

排水の生物学的处理

著者 洞 沢 勇

出版 株式会社 技報堂

发行 东京 1976年1月

* * *

污水的生物处理

张 自 杰 译

*

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(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：8 字数：180 千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷

印数：1—11,830册 定价：0.65元

统一书号：15040·3630

译者序

本书是日本洞沢 勇所著，1976年首次出版。

书中对污水生物处理的基础知识和各种处理方法的基本原理、设计与运行，都作了比较系统而简要的阐述，特别是对污水的三级生物处理和温度对生物处理的影响问题，也各设专章作了介绍。

简明、扼要是本书在叙述上的特点，但对理论问题也安排了相当的篇幅。

本书在翻译时删去了原书中的“间歇砂滤法”与“接触过滤法”二章。此外，在其他章节的个别地方也作了少量的删节。附录也没有完全收入。

原书有一些笔误和例题计算上的错误，经译者发现的都作了修正，在某些地方还加了注释和补充。

本书可供在污水处理领域工作的技术人员、大专院校有关专业师生参考。

由于译者水平所限，错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

译者

1978年11月

著 者 原 序

在现代的污水处理法中，生物处理法是使用最广泛的方法之一。这是一种应用自然生长生物的生物能的处理法。这种方法得到广泛使用的原因是：参与净化活动的生物是在任何地方都存在的，极其普通的种属；污水净化，在某种程度上能够由生物本身自行调节；用其中的某些方法，能够取得相当高度的净化效果等。

总之，生物处理法是通过微小生物的个体活动对污水进行处理的，因此，应当很好地掌握这种生物的基本特征。不能只把注意力放在污水处理厂的构筑物 and 机械设备方面，而忽略了生物处理本源的生物。

本书所叙述的是污水处理中的生物处理法。在叙述和内容方面，力求简明、扼要，但是，对理论在设计上的具体应用，也予以充分的注意。

本书引用了在污水生物处理科学研究和生产实践部门工作的各位老前辈的成果，借此机会表示深深的谢意。

洞 沢 勇

1975年12月15日

目 录

译者序

著者原序

第 1 章 生物处理法的基础和类型	1
1-1 细胞的构造及功能	1
1-2 营养	3
1-3 生物合成	5
1-4 增长	6
1-5 降解代谢与生物氧化	8
1-6 污水生物处理法的类型	11
1-7 污水生物处理的原则	12
第 2 章 稀释处理法	14
2-1 采用稀释处理法的条件	14
2-2 水域的允许负荷	15
2-3 自然净化作用	15
2-4 排放	24
第 3 章 生物稳定塘	32
3-1 生物稳定塘的类型	32
3-2 厌氧塘	32
3-3 生物氧化塘	33
3-4 生物氧化塘的规划	39
3-5 脱氮用生物氧化塘	41
第 4 章 土地灌溉法	45
4-1 目的与类型	45
4-2 净化作用	47
4-3 预处理	48
4-4 土地灌溉法的规划、规模和效果	49

第5章	生物过滤法	54
5-1	生物滤池及其类型	55
5-2	生物滤池的构造	57
5-3	净化作用	60
5-4	净化作用的定量考察	65
5-5	供氧	76
5-6	回流	78
5-7	生物滤池的运行故障	79
5-8	布水装置	80
第6章	生物转盘	87
第7章	接触氧化法	94
第8章	活性污泥法	99
8-1	活性污泥法的特征与类型	99
8-2	活性污泥的组成	108
8-3	活性污泥的性质	114
8-4	需氧量	119
8-5	活性污泥的净化作用	125
8-6	活性污泥法的运行故障	131
8-7	曝气池规模的计算	136
8-8	曝气	139
8-9	曝气装置	144
8-10	剩余污泥的产生	153
第9章	曝气式氧化塘	165
9-1	概说	165
9-2	曝气式氧化塘的特征	165
9-3	曝气式氧化塘的基本要项	166
9-4	需氧量	171
9-5	对BOD降解有影响的各种条件	171
第10章	厌氧处理	175
10-1	厌氧性细菌	175

10-2 厌氧分解机理	176
10-3 厌氧处理过程出现的各种现象	180
10-4 厌氧消化处理法	189
10-5 普通消化处理法	190
10-6 高负荷厌氧消化法	197
10-7 厌氧接触法	198
第11章 三级生物处理	200
11-1 现行活性污泥法的净化限度	200
11-2 生物氧化塘的三级处理	204
11-3 二段活性污泥法处理	205
11-4 改良接触氧化法	207
11-5 脉冲吸附法	211
第12章 温度对生物处理的影响及其对策	213
12-1 温度和化学反应速度	213
12-2 温度与生物处理的效果	217
12-3 净化率在不同温度下的估算法	218
12-4 温度系数	220
12-5 寒冷地区的对策	223
第13章 污水中氮及磷的去除	229
13-1 污水中氮、磷的意义	229
13-2 污水中的氮、磷	230
13-3 氮的去除法	232
13-4 磷的去除法	236
附 录	241
附-1 公共场所便所污水 BOD 值的估算法	241
附-2 生活(居民点)污水量的逐时变化	244
附-3 一般污水的温度-BOD 表	245
附-4 有关生活的环境标准	246
附-5 进行除害处理的水质标准	248

第 1 章 生物处理法的基础和类型

如对生物处理功能加以探讨，就会认识到这一功能是由我们肉眼所看不到的微小细胞的活动所进行的。这种微小细胞的集体活动，能够完成象大城市污水和工业废水处理这样的巨大工作。

本章将对这种生物的基本功能加以若干阐述。

1-1 细胞的构造及功能

细胞的构造因生物的种类不同而异，特别是细菌和蓝藻类，在构造上和其它生物有相当大的不同，在前者的构造上不存在在后者所能见到的核。但是，如用电子显微镜观察，能够看到电子稀薄的部分，它们和更高级生物的核营同样的功能。于是，可以作出如下判断：作为生命活动单位的细胞，其所具有的基本特性，无论是细菌或其它生物是没有多大差异的。

下文对细胞构造和功能的叙述，仅是对污水处理有重要意义的那一部分。由于是以模式化形式叙述的，因此，对每个场合，有的地方不一定和本文一致。

1-1-1 细胞的构造

细胞的主要部分示于图1-1。

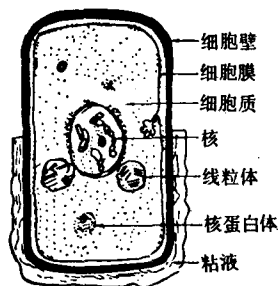


图 1-1 细胞

(1) 细胞壁

细胞壁具有能使物质进出的微孔，并起着使细胞保持一定形状的作用。细菌的细胞壁虽然都是由氨基酸、胞壁酸 (maramic acid)、脂质、多糖类、磷壁酸 (也叫垣酸) 等所组成，但革兰氏阳性菌和阴性菌的组成却是不同的，在革兰氏阳性菌，多糖类和磷壁酸最多，分别可达 35~65% 和 50%。在高等生物中几丁质 (Chitin) 和纤维质居多。

细胞壁是物质进入细胞的第一道关卡，物质是通过微孔进入的，不仅大分子难以通过，即或是小分子，也有由于磷壁酸的离子交换作用而不能通过。

(2) 细胞膜

由脂质、蛋白质和少量碳水化合物所组成，细胞膜以其本身的复杂构造，承担细胞内外物质的传递任务。细胞外物质是在透膜酶 (Permease) 的作用下，有选择的进入细胞质内。

(3) 细胞质

占有细胞内的大部分，其中包括参与生活活动、具有各种重要功能的物质。例如线粒体 (mitochondrion) 是好氧性生物所共有的物质，参与呼吸作用。又，在细胞中还存在着呈管状、层状等构造，表面积较大的称为间体 (又名中体) 的物质。细胞质内所含有的三磷酸腺苷含有高能磷酸结合 $[-PO(OH)_2]$ ，是一种起着能量贮存、供给和传递作用的重要物质。

核蛋白体 (又称核糖体) (ribosome) 约占细胞重量 30% 左右，是含量多的物质。多呈不定型构造，含有蛋白质和核糖核酸 (RNA)，从事蛋白质的合成。

(4) 核

含有染色体 (Chromosome)，除了参与生殖、遗传

等活动外，还是细胞活动的调整中心。

除了上述物质外，在细胞中还含有另一些重要物质。例如，从事光合作用的植物性浮游生物含有的叶绿体（Chloroplast），在高等植物的每个细胞中约为20~50个，但在藻类则为数较少，形状也多变。叶绿体为半透膜所包覆，膜含有大量的粒子和光能转化体（quantasome），光能转化体由蛋白质和脂质所组成，在光照射下，具有使 CO_2 还原的功能。在其所含有的叶绿素的中心处含有Mg，它分别地对光的波长具有特殊的吸收带（图1-2）。

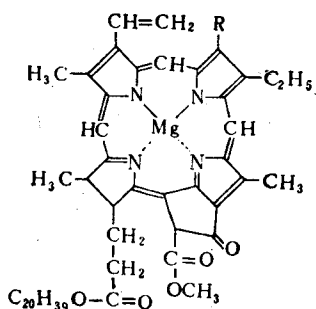


图 1-2 叶绿素

（5）粘液层

细胞多为粘液层所包覆，粘液层由多糖类、多肽、蛋白质等所组成，并含有多种多样的酶。

在污水处理中起首重作用的菌胶团即为粘液层所包覆，这一粘液层能够通过它所具有的重要的吸附作用，在短时间

内物理性的去除污水中污染物质。

菌胶团的粘液层以多糖类为主要成分，含有的蛋白质在1.4%左右。

1-2 营 养

1-2-1 营养的摄取方式

营养摄取方式大致如下，参与有机性污水处理的大部分

生物属于他养型。但是，生物氧化塘内的藻类，以及参与无机氮转化的微生物则属于自养型。

1) 自养型微生物，能够利用由无机物氧化所产生的能量，以 CO_2 为碳源。有下列二种类型：

a、化能自养型，其中有硫杆菌属(Thiobacillus)、亚硫化毛杆菌属(Nitrosomonas)、硫化杆菌属(Nitrobacter)等。

b、光能自养型，有藻类及特殊细菌等。

2) 他养型微生物，从有机物摄取碳源的微生物。

3) 兼养型微生物，例如小球藻，在有光的场所进行光合作用，而在暗处失去叶绿体即从事他养型生活。

1-2-2 碳源及氮源

自养型生物能够以 CO_2 、 HCO_3^- 为碳源而加以利用。

原生动物及其它参与污水处理的大部分生物都是从各种碳水化合物中寻求碳源的，但在特殊的原生动物中也有同时必须摄取氨基酸及维生素的。

除了大气中的氮外，氨、硝酸等无机氮，氨基酸、蛋白质等有机物等都能够作为微生物的氮源。

湖泊的富营养化、生物氧化塘等都和无机氮的利用有深刻的关系。对大气中氮具有固定能力的生物群有蓝藻类的项圈蓝藻属(Anabaena)、念珠蓝藻属(Nostoc)、筒孢蓝藻属(Cylindrospermum)等。

此外，还有一些物质是重要的营养源，磷即为其中的一种，其存在数量和生物处理、湖、海的富营养化有重要的关系，一般超过0.02毫克/升，就能够促进植物性浮游生物的增长，形成富营养化。

磷在核酸及某种脂质的合成上，有着重要的作用。此外，

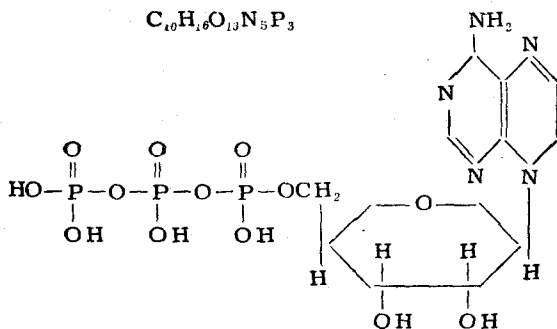
它还是与能量贮存、传递有关的 ATP 以及与电子传递有关的 NAD、NADP 的组成的一部分^①。

1-3 生 物 合 成

生物体的构成物质都含有多数的高分子，但高分子是由各种低分子依次合成而成，到合成为最后的物质为止，要经过多数阶段，在每个阶段都是酶起着重要的作用。

高分子虽然非常复杂，但从其构成单位来看又是比较单纯的，例如，多糖类物质不过是由单一的单糖类所连结成的长链，又如，蛋白质是无数个氨基酸单位的缩合产物，是通过羧基和氨基脱水而产生的酰胺键（—CO—NH—）连结起来而形成的高分子化合物。

①注：ATP(Adenosine triphosphate)三磷酸腺苷。其结构式为：



NAD(Nicotinamide adenine dinucleotide) 也简称为 CO I 或 DPN，为辅酶 I，化学式为 $\text{C}_{21}\text{H}_{28}\text{N}_7\text{O}_{14}\text{P}_2$ ，其本质为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸。

NADP(Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)，也简称 CO II 或 TPN，化学式为 $\text{C}_{21}\text{H}_{28}\text{N}_7\text{O}_{14}\text{P}_3$ ，本质为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸；辅酶 II。

译者注：上述各项注释，原书分散在各节中，译者将其调整集中并作了补充。

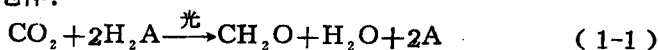
但是，在低分子结合合成高分子的同时，还必须伴随着能量的转换。

合成代谢称为生物合成或物质合成代谢，产生能量的代谢称为分解代谢或降解代谢，其中也有难于判断的无定向代谢（amphibolic pathway）。

在生物合成中，最基本的 是通过叶绿体所进行的光合成，是以 CO_2 或 HCO_3^- 作为碳源的。

具有光合成能力者是绿色植物，但在细菌中也有能够利用 CO_2 光合成有机物的种属。

一般的这种光合成反应，可用下列公式表示，其中 H_2A 为供电体：



H_2A ，在绿色植物的场合，由水来承担，并产生氧气，而在细菌的场合，则是 H_2S 和有机物，进行厌氧分解时，不产生氧。这些变化概括地列举于表1-1中。

光合成时供出电子化合物

表 1-1

生物种类	H_2A	备 考
绿色植物	H_2O	$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
细菌 紫硫黄细菌	H_2S	$2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4$
绿硫黄细菌	H_2S	$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{CH}_2\text{O} + 2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
紫细菌	有机S	琥珀酸盐

1-4 增 长

增长这个名词曾在各种不同的范围内使用过，并未统一，在这里的含义是随着生物体的增大，其个体数也在增加。

微生物是由于细胞分裂而使个体数增加的，与此同时，必须有外部物质进入生物体内同化，使生物的构成物质得到增加。

现在，以一个细菌为例加以观察，1个母细菌分裂为2个子细胞，进一步再分裂为4个。此后，如果不存在其它阻止分裂的条件，则在 n 次分裂后，细胞总数将为：

$$N_t = N_0 2^n$$

N_0 为最初的细胞数。

此外，如考虑时间因素，则下式成立：

$$N_t = N_0 2^{\left(\frac{t-L}{t_d}\right)} \quad (1-2)$$

式中 t ——全部时间；

L ——潜伏期的时间；

t_d ——每次分裂所需要的时间。

但是，事实上由于存在着营养、空间环境等种种限制，一般的生长都是按图 1-3 所示的 S 形曲线进行的。

图 1-3 所示是大肠埃希氏杆菌的增长，在考虑生物体的

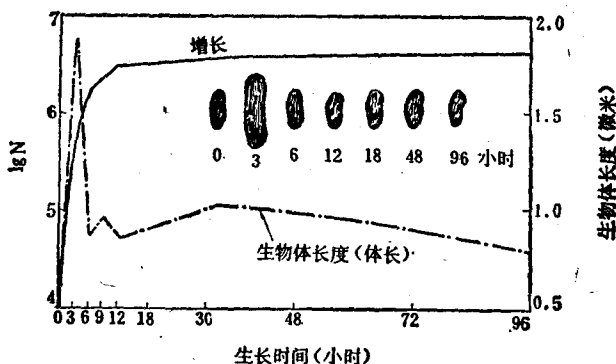


图 1-3 大肠埃希氏杆菌的增长和体长、体形的变化

质量增减时，仅仅以个体数（图中曲线 N ）来表示就不够了，在某一时间，成体个数虽然相同，但在体积大小方面却有相当的差距。如图所示，3小时后个体体积最大。在考虑生物体的重量时，下列公式成立：

$$W_t = W_0 \times 10^{Kt} \quad (1-3)$$

式中 W_0 、 W_t ——分别为初期和 t 时的生物体总重量；

K ——增长速度常数。

生物增长过程的典型曲线示于第8章图8-30。

在对数增长期，增长速度常数 K 值的变化，由各种不同条件如营养、温度等所控制。

图1-4所示是克氏杆菌（*Klebsiella*）在不同温度条件下的增长状况。在实际运行的活性污泥法污水处理厂，BOD负荷与活性污泥生物数之间的关系例举于第8章图8-11。

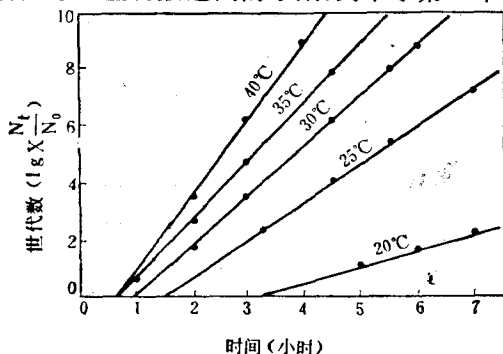


图 1-4 增长和温度的关系

1-5 降解代谢与生物氧化

1-5-1 降解代谢

生物在不断地活动，为此需要相当的能量。各种物质的

合成、生物体的运动等都是在做功，做功是由于在 AB 之间存在着能量差而产生的。

当 A 向 B 变化的场合，所产生的自由能为 ΔG 时， A 由于形成 B 而失去了能量 ΔG 。

在标准状况下，自由能的变化 ΔG_0 为

$$\Delta G_0 = -RT_{1n}K \quad (1-4)$$

此外，在 $A \rightleftharpoons B$ 的任何条件下的能量变化为：

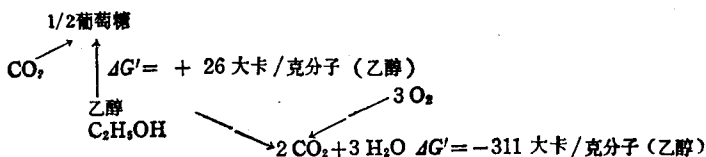
$$\Delta G = \Delta G_0 + RT_{1n} \frac{[B]}{[A]} \quad (1-5)$$

式中 R ——气体常数；

T ——绝对温度。

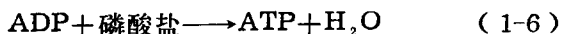
生物，为了能够充分地使用这些能量，为自己安排着各种复杂的构造，例如，氧化并不象普通的燃烧那样，直接形成 CO_2 和 H_2O ，而是在任何阶段的变化都是在常温下进行的，也进行能量的结合（Coupling）。

乙醇在产朊圆酵母（*Torulopsis utilis*）的作用下，所产生的变化为



乙醇的能量结合

此外，在产生大量能量并对其利用的生物反应中，有三磷酸腺苷（ATP）参与。例如：



此时 $\Delta G(\text{pH}7) = +7.4 \text{ 大卡/克分子}$ 。

一般，当氧为氢受体时，自由能的发生量比其它任何时