

活性污泥生物学

[日]高桥俊三 等著

张自杰 译

中国建筑工业出版社

活性污泥生物学

[日]高桥俊三 等著

张自杰 译

中国建筑工业出版社

本书主要内容包括：废水的生物处理，活性污泥的生理、生态，活性污泥的净化作用，影响活性污泥净化反应的因素，活性污泥法的各种演变法与新课题，活性污泥系统的维护管理。

本书可供从事污水处理方面的人员和大专院校有关专业师生参考。

活 性 污 泥 生 物 学

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

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：8 字数：178千字

1978年12月第一版 1978年12月第一次印刷

印数：1—10,120册 定价：0.59元

统一书号：15010·3476

译 者 的 话

本书译自日本《水处理技术》杂志1969年10卷1期～1970年11卷3期连载的长篇文章“活性污泥生物学”。该文系高桥俊三等集体撰写。他们以多年在污水处理厂进行调查研究和试验的结果为基础，从微生物的生理、生态方面来解释在活性污泥净化反应过程中所产生的种种现象。

译者对这些文章做了一些删节和调整。

活性污泥法在我国已广泛采用，效果比较好。本书可供从事污水处理方面的工作人员和大专院校有关专业师生参考。

限于水平，书中错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

译 者

前 言

在有机废水处理法中处理效果最好、使用最广的活性污泥法，从创始以来历经五十多年，其间几经改进，发展了多种的改良法与演变法。就活性污泥及活性污泥微生物群的生理活性问题，曾从生物化学和物理化学方面发表过一些研究成果，但在其机理方面仍有大量问题尚未得到充分的阐明。至于处理运行的方法方面，其理论基础还远未完善，目前还主要以经验为指导。

污水中含有的有机污染物质种类繁多。在活性污泥上栖息着多种多样的微生物，活性污泥不是单纯的物质，而是一种生物群落，活性污泥降解有机物的反应，并不象单纯化学反应那样，从一种静止状态通过反应过渡到另一个静止状态，而是通过某种作用，相继产生酶系统和微生物种属的变化，绝无片刻的静止状态，因此可以说，活性污泥净化作用的机理是很复杂的。为了彻底阐明这一机理，本专业人员自不待言需要进行大量的调查研究、科学实验与理论探讨的工作。此外，还应当和生物学、化学、物理等科学领域人员大力协作，共同努力。

本书以在污水处理厂进行调查研究和试验成果为基础，并系统地研究了迄今为止所发表的以活性污泥生物学领域为中心的论文和报告，试着从微生物的生理、生态方面来解释在净化反应中活性污泥所产生的种种现象，以寻求解决活性污泥法处理中存在问题的途径。

目 录

前言

第一章 废水的生物处理	1
第一节 自然界的物质循环	1
第二节 活性污泥法 ——自然界物质循环规律在废水处理领域的应用	2
第二章 活性污泥的生理、生态	4
第一节 活性污泥的性质与形状	4
1. 性质	4
2. 组成	6
第二节 活性污泥的构成生物	6
1. 概要	6
2. 细菌	7
3. 原生动物	14
第三节 增殖	17
1. 世代与增殖曲线	17
2. 环境条件	21
第四节 营养	22
1. 自养细菌	22
2. 碳源	23
3. 氮源	29
4. 其它	31
第五节 酶	35
1. 酶的一般性质	36
2. 酶作用的形式	37

3. 酶的生成	40
4. 酶的存在位置	41
5. 主要的酶类	42
第六节 代谢	45
1. 概论	45
2. 营养的吸收——细胞的透过性	48
3. 细胞膜透过性与代谢	52
4. 碳水化物的代谢	55
5. 蛋白质的代谢	59
6. 脂肪的代谢	61
7. 其它有机物的代谢	62
8. 无机营养细菌的代谢	66
9. 代谢的调节	68
第七节 竞存和适应	74
第三章 活性污泥的净化作用	77
第一节 适于用活性污泥法处理的废水及其特征	77
1. 城市污水	79
2. 粪便	80
3. 工业废水	84
第二节 城市污水的性质	86
1. 组成	86
2. 浓度指标	92
第三节 生化需氧量	94
1. BOD的意义	94
2. BOD与COD	100
第四节 净化过程	100
1. 概论	100
2. 附聚、吸附、吸收	102
3. 有机物的分解与合成	120

4. 凝聚、沉淀	135
第五节 处理过程的水质管理	143
1. 净化程度的指标	143
2. 净化能力指标	150
第四章 影响活性污泥净化反应的因素	162
第一节 水质	162
1. 有机物	162
2. 无机物质	163
3. 底质间的相互作用	167
4. 由形态所产生的差异	171
第二节 毒物	173
1. 概述	173
2. 重金属离子的毒性作用	179
3. 其它的无机性毒物	183
4. 有机毒物	184
5. pH对毒物作用的影响	188
第三节 负荷	189
第四节 物理化学因素	191
1. 水温	191
2. pH	192
3. 曝气、溶解氧与搅拌混合	193
第五章 活性污泥法的各种演变法与新课题	198
第一节 各种演变法概要、理论	198
1. 活性污泥法的发展简史	198
2. 标准活性污泥法	202
3. 阶段曝气法	204
4. 减量曝气法	207
5. 生物吸附法	208
6. 高效率法	211

7.完全氧化法	212
8.完全混合法	213
第二节 活性污泥法的新课题——脱氮与除磷	217
1. BOD的降解限度	217
2. 活性污泥脱氮	218
3. 活性污泥除磷	222
第六章 活性污泥系统的维护管理	225
第一节 处理开始时的维护管理	225
第二节 平时的维护管理	231
第三节 产生异常情况及其采取的对策	232
1. 处理水质良好, 但污泥产生异常状态	232
2. 处理水质浑浊	243
3. 产生泡沫	246

第一章 废水的生物处理

第一节 自然界的物质循环

水中污染物质，其中一部分是象有机汞和镉这样的能够直接夺取人类生命和影响健康的物质，而大部分则是能够在水中腐化的有机物。

这些有机物主要分为碳水化合物、脂类、蛋白质等，它们的组成元素分别为：

碳水化合物、脂类：C、H、O

蛋白质：C、H、O、N、S

有限的这几种元素几乎组成了所有的有机物，这一事实说明任何一种有机物都可由同一的材料所组成，由于元素的组合变换，就会得到各种不同的有机物。由简单的化合物组成复杂的化合物，复杂的化合物又向简单的化合物转化，有机物的元素就是这样地进行循环。

在自然界，生息着从微生物到高等动物的无数的生物，一种生物以另一种生物为食，其尸骸或排泄物又为另一种生物所食用，结果，在有机物从一种生物向另一生物体内转移的同时，元素得以变换组合并在自然界内进行循环。

绿色植物和一部分微生物能够将水、二氧化碳、铵盐、硝酸盐、硫酸盐等无机物合成为有机物，从而使自然界的有机物有所增加，这是事物的一个方面。而另一方面，为生物所摄取的有机物中的一部分，作为生物从事生理活动的能源而被消耗，于是，有机物又在循环中有所减少。

采取人工措施，以促进有机物在自然循环中被消耗而减少的进程，就是废水生物处理的实质。

第二节 活性污泥法

——自然界物质循环规律在废水处理领域的应用

如果在废水中不培育能使有机物增加的生物，而只培育能使有机物减少的生物，则污染有机物被这种生物所摄取并作为能源而消耗，从而使废水得到净化。但是，如果这种生物不具有合成作用的能力，而如高等动物和厌氧菌那样，即使有机物有所减少，高等动物的排泄物和厌氧菌放出的氨和有机酸等都会使经过净化的废水遭到二次污染。只有好氧菌不存在再污染问题，而且增殖迅速，因此是最理想的生物。

这样的净化过程在自然界是广为存在的。河水与空气广泛接触，氧溶于水。污染有机物排放水中，河水遭到污染，但污染有机物为好氧微生物所食用，微生物的尸骸又为另一微生物所食，河水再次得到净化，这种作用称之为“河川的自净”。

人工废水生物处理法就是根据这一原理所创造的。19世纪末发明了生物过滤法，在1914年又出现了活性污泥法（图 1-1）。

对含有有机污染物的废水连续地进行曝气，能够增殖大量的好氧微生物。增殖的微生物和水中的固

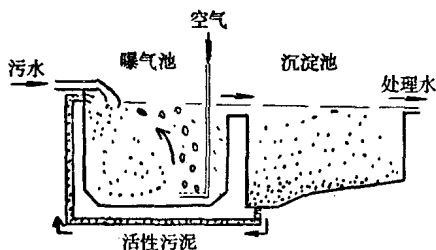


图 1-1 活性污泥法示意图

体物质一道形成了颗粒从几分之一毫米到数毫米的绒粒。将此绒粒移至另一个容器内静置，上部的澄清水即为处理水，下层的绒粒积如泥状。将这种污泥加以收集并投加到新流入的废水中，则将继续增殖微生物，其结果是吸收有机污染物的速度大为提高。这种充满微生物的污泥即为活性污泥，这种处理系统就是活性污泥法。

第二章 活性污泥的生理、生态

第一节 活性污泥的性质与形状

1. 性质

活性污泥是以好氧菌为主体所形成的绒粒，混杂着废水中的有机性和无机性悬浮物质、胶体物质，并在其表面上附着着种种不同的原生动物、后生动物等，因此，活性污泥是一种很复杂的物质。活性污泥大部分是由微小的绒粒所组成，加以静置立即凝聚成较大的绒粒而沉淀。

活性污泥在外观上与由硫酸铝所形成的绒粒极其相似，呈轻飘飘的羽毛状，一般多是茶褐色，但按废水水质和处理条件的不同，其色度变化幅度很大。例如，同一废水由于处理条件不同，活性污泥可从灰褐色变为红褐色，此外，在处理特种工业废水时活性污泥也可能呈黄白色或黄褐色等。

良好的活性污泥几乎没有臭味，微微具有土壤的气味。

活性污泥的比重因含水率及其组成而异，曝气池内混合液的比重为1.002~1.003，回流污泥为1.004~1.006左右。表2-1所列数据是日本名古屋市颯留污水处理厂的活性污泥在不同浓度下的比重。

关于活性污泥绒粒的大小，芬斯坦 (Finstein)、休凯莱凯安 (Heukelekian) 等对在玻璃片上干燥活性污泥绒粒的投影所进行测定的结果，大体上在0.02~0.2毫米的范围内，而绒粒的表面积则介于20~100厘米²/毫升之间。

活性污泥具有较强的缓冲能力，流入废水的pH值既或

名古屋市堀留污水处理厂活性污泥的比重

表 2-1

活性污泥浓度 (毫克/升)	比 重	
	用比重瓶测定值	用比重计测定值
10150	1.0049	1.005~1.006
8620	1.0043	1.005
6170	1.0034	1.005
5870	1.0034	1.004
4200	1.0025	1.003
1820	1.0015	1.0025
1550	1.0013	1.002
734	1.0010	1.0015
369	1.0009	1.001

活性污泥的组成(以干燥物质的%计)

表 2-2

项 目	堀留污水处理厂	美国 污 泥
烧灼减量	60.17	62~75
灰 分	39.83	25~38
不溶性灰分	—	22~30
脂 类	4.91	5~12
蛋 白 质	30.42	32~41
纤 维 质	11.97	7~8
碳水化合物①	12.87	—
P ₂ O ₅	2.02	3~4
K ₂ O	1.57	0.86
SiO ₂	17.86	8.5
Fe ₂ O ₃	4.46	7.1
Al ₂ O ₃	2.81	—
CaO	4.40	—
MgO	1.53	—
S	1.5	—

① 不包括纤维素。

略有高低，混合液也大体呈中性。但是活性污泥本身却略呈酸性，混合液的pH值多较处理水的pH值为低。例如，名古屋市名城处理厂曝气池末端混合液的pH值为6.95，此混合液的污泥沉淀后其澄清液的pH值则为7.05，污泥经浓缩后，其pH值为6.7。

2. 组成

活性污泥的组成因入流废水不同而变化，因此是不同的，表2-2所列数据即为其一例。

表2-3所列数据是名古屋市堀留污水处理厂的活性污泥在投入粪便和不投入粪便时的对比值，它可以作为流入废水对活性污泥组成影响的一例。

活性污泥的含水率与其沉淀性能有关，而且变化幅度很大，一般经30分钟至1小时沉淀后，含水率在99%左右。

投入粪便对活性污泥组成的影响 表 2-3

项 目 试 样	烧 灼 减 量 (%)	总 氮 (%)
投入粪便时的活性污泥 (从1958年11月到1959年7 月计24个试样的平均值)	60.8	7.65
不投入粪便时的活性污泥 (从1959年11月到12月计8 个试样的平均值)	52.5	5.36

第二节 活性污泥的构成生物

1. 概要

在生物处理的运行方面最重要的一点就是如何使参与净化作用的生物群保持旺盛的生长繁殖。为了就此问题进行理

论上的探讨，必须阐明生物群的质和量以及其与周围环境条件的关系。

组成活性污泥的生物包括：用显微镜才能够观察到的微生物和肉眼也能够看到的目视生物。如加以分类，则可分为细菌、真菌、藻类、病毒、立克次体等植物类及原生动物、轮虫、线虫等后生动物。在活性污泥的构造和功能上的中心则是细菌。过去曾经认为活性污泥是由单独的菌胶团等特定的细菌或至多也只限于由二、三种细菌集居所形成，但是，如果以不同的废水作为培养基，在某种特定条件下所培养出来的微生物群绒粒——活性污泥，其构成的微生物并不限于某特定的一种，而是在不同的营养、供氧、温度、pH值等条件下，形成以最适宜增殖的微生物为中心与多种多样生物相结合所组成的一个生态系。

现在对活性污泥构成细菌的研究取得了一些进展，已判明活性污泥是以在土壤、水中广泛分布的革兰氏阴性菌作为主体。但是，当对某种组成特殊的工业废水进行处理时，所产生的活性污泥则是由极其有限的几种细菌和真菌所组成。

在显微镜下的活性污泥，除了细菌外，还可以看到多数的原生动物。原生动物也称之为原虫，对其曾进行了大量的研究，它在活性污泥净化功能上是否起作用还未定论，一般广泛用于作为评定活性污泥质量优劣的指标。

除细菌、原生动物以外，真菌和后生动物。的轮虫、线虫和寡毛类也经常出现，但除特殊情况以外，它们在活性污泥的净化功能上没有多大作用。病毒、立克次体、藻类也混于活性污泥中存在，但它们并不是活性污泥的积极构成生物。

2. 细菌

细菌是微小的单细胞生物，依靠分裂增殖，是活性污泥

的主要构成生物。按外部形态，细菌可分为：

球菌

杆菌

弧菌

等三种类型，见图2-1。其中以球菌为最小，直径只有0.2~5微米，一般以1微米者居多。直径1微米的球菌其容积为0.526微米³，每1毫升含有10⁹个球菌。杆菌长1~50微米，宽0.3~5微米，弧菌长2~10微米，宽则介于0.3~3微米的范围内。

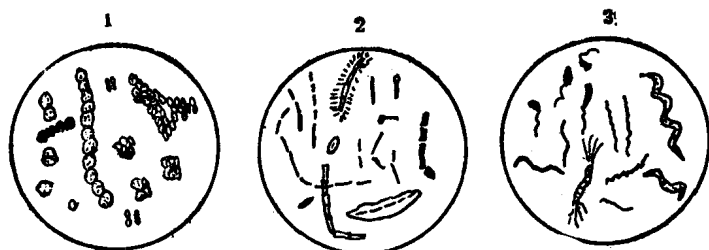


图 2-1 细菌的形态

1—球菌；2—杆菌；3—弧菌

细菌是通过分裂增殖的，也有在分裂后不分离以互相连结的状态存在。连结的方式大致由细菌的种类而定，因此，它和外部形态共同作为鉴别细菌分类的一个手段。

弧菌的全部、杆菌的大部以及少数球菌具有鞭毛，能够进行活泼的运动。鞭毛非常细小，用普通的染色法是看不到的，需要通过特殊的染色法或直接用电子显微镜观察。鞭毛生长在细菌的细胞质上，其数目和生长的位置因细菌的种类而异，因此，也可以用它来鉴别细菌，见图2-2。