

# 新 活性污泥法

学术书刊出版社

# 新活性污泥法

〔日〕桥本 奖 须藤隆一 编著

李至时 戴镇生 牛绍膺 译

张 杰 校

学术书刊出版社

## 内 容 提 要

本书是系统叙述活性污泥法处理污水最新技术的一本专著。全书分8章，主要内容是活性污泥法的处理工艺、厌气-好气式高浓度活性污泥法、间歇式活性污泥法、高浓度活性污泥法、投加凝聚剂的活性污泥法、氧化沟法、纯氧活性污泥法、生物工艺学的应用等。对活性污泥法处理污水的各种新技术从理论探讨、设计方法、运行管理等方面都做了全面地阐述，是一本权威性的新著。可供环境保护、给水排水、污水处理、水微生物学等专业的工程技术人员、科学研究人员、大专院校师生、研究生参考。

\* \* \*

## 新 活 性 污 泥 法

〔日〕桥本 奖 须藤隆一 编著

李至时 戴镇生 牛绍膺 译

张 木 校

\*

学术书刊出版社出版（北京海淀区学院南路86号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市密云县印刷厂印刷

\*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：8.625 插页：1 字数：240千字

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数：1—1050册 定价：9.95元

ISBN 7-80045-625-0/X·6

## 译者的话

《新活性污泥法》一书是由日本从事环境保护、污水处理和微生物方面研究负有盛名的7位博士根据他们多年的研究和实践，并总结了世界上关于活性污泥法处理污水的最新技术成果共同撰写而成的。由日本大阪大学工学部环境工程学教授、工学和医学博士桥本奖、日本环境厅国立公害研究所技术部部长、理学博士须藤隆一主编。1986年9月由日本产业用水调查会出版。

本书内容新颖丰富、知识系统全面。对活性污泥法污水生物处理的各种新工艺从理论研究、工艺设计、生产运行，到未来的展望都做了详细论述，提供了丰富而具体的资料和数据。特别是对活性污泥中的微生物、生物净化动力学、基本工艺参数、脱氮除磷方法、生物工程学在污水处理中的应用等都较全面地进行了探讨。这是一本80年代污水生物处理方面的权威性著作。本书的翻译出版对促进和提高我国污水生物处理技术的发展大有裨益。

参加本书翻译工作的有：李至时（序言，第1、2、5章）、戴镇生（第3、4章）、牛绍膺（第6、7、8章）。全书由张杰同志校订。

由于译校者水平所限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

译者 1988年4月

## 序

活性污泥法是欧美许多研究者通过长期的学习和实践，于1917年由Andern和Lockett共同设计的，对城市生物学污水处理的中心技术，在过去长达70年的时间内，为防止世界水质污染所做出的贡献是众所周知的。这个期间，关于活性污泥法的知识、理论和技术积累了很多，各种越来越新的活性污泥法被开发出来。

经过两次石油冲击和在封闭水域产生富营养化为转机，对能量消耗型的活性污泥法要重新评价。

现在，开发一种既不过多地使用资源、能量，也不过份受水质、水量变动和有机无机毒物影响，而且剩余污泥生成量少，还能够去除BOD、COD、TOC和富营养化的成因物质氮、磷，以及去除更难分解的合成有机物理理想的活性污泥法已成为广大研究者关心的事。

本书列举了目前已经实用化的纯氧活性污泥法、无稀释粪便好气消化法等高负荷活性污泥法以及厌气-好气式活性污泥法、间歇式活性污泥法等同时去除氮、磷的方法，以及维护管理容易的氧化沟法等，都是活跃在第一线的优秀的作者们集体协力所取得的。对于各种方法的开发经过、处理原理、处理工艺、设计的基本参数、基本操作、实际设备的介绍、今后的展望都详细地做了阐述。确信该书对关心活性污泥法的改良、改善和从事污水处理的研究者、技术人员、学生等是有价值的，故此问世。

桥本 奖

1986年3月

# 目 录

## 序

### 第1章 活性污泥法的处理流程

1.1 前言	(1)
1.2 处理流程	(2)
(1)基本处理流程	(2)
(2)净化原理	(4)
(3)活性污泥法的操作因素	(7)
(4)各种活性污泥法	(16)
1.3 活性污泥的微生物	(17)
(1)活性污泥中的微生物量	(19)
(2)细菌	(21)
(3)原生动物	(23)
(4)其它微生物	(28)
(5)活性污泥管理的指示生物	(29)
(6)膨胀	(31)
(7)微生物的增殖速度	(33)
1.4 活性污泥法的课题	(36)
(1)与其它处理方法的比较	(36)
(2)存在问题	(37)
(3)生物工艺学的应用	(39)
1.5 结语	(40)

### 第2章 厌气-好气式高浓度活性污泥法

2.1 前言	(41)
2.2 原理	(42)
2.3 处理流程	(49)
(1)除氮	(49)
(2)净化机能动力学的探讨	(53)
(3)氮、磷的同时去除	(56)

2.4 设计的基本参数	(62)
(1) 反应速度的决定方法	(62)
(2) 设计理论	(66)
(3) 设计举例	(68)
(4) 设计公式的检证	(69)
2.5 基本操作	(71)
(1) 流入废水	(71)
(2) 厌气脱氮槽	(72)
(3) 好气硝化槽	(73)
(4) 沉淀槽	(73)
(5) $t_s$	(74)
(6) 循环比	(74)
2.6 实例	(74)
(1) 实际设施举例	(74)
(2) 修正Bardenpho流程的实际设备处理成果	(82)
2.7 今后的展望	(85)
<b>第3章 间歇式活性污泥法</b>	
3.1 前言	(87)
3.2 原理	(89)
(1) 基本运行操作	(89)
(2) SBR和CFS的比较	(92)
3.3 设计方法	(96)
(1) 前言	(96)
(2) BOD负荷	(96)
(3) 最大和最小水量	(97)
(4) 进水和出水装置	(99)
3.4 运行操作	(99)
(1) 污泥膨胀的防止	(99)
(2) 脱氮	(105)
(3) 除磷	(108)
(4) 连续流入废水的处理	(109)
3.5 运行实例	(110)

(1)前言	(110)
(2)生活污水处理 (Culver市污水)	(110)
(3)工业废水处理 (豆酱、酱油工厂)	(113)
(4)工业废水处理 (农产品加工厂)	(114)
3.6 结语	(115)
<b>第4章 高浓度活性污泥法</b>	
4.1 前言	(117)
4.2 原理	(118)
(1)活性污泥微生物的增殖和净化反应动力学	(118)
(2)活性污泥动力学与难分解物质的处理理论	(124)
(3)从剩余污泥的处理费和供氧费方面评价	(127)
4.3 处理流程	(129)
(1)PVA的处理	(129)
(2)高浓度2段活性污泥法进行粪便的好气性处理	(144)
4.4 设计的基本参数	(150)
(1)PVA的处理	(150)
(2)高浓度2段活性污泥法进行粪便的好气性处理	(157)
4.5 基本操作	(160)
(1)高浓度活性污泥法	(160)
(2)高浓度2段活性污泥法	(163)
4.6 工程实例	(165)
(1)高浓度活性污泥法的工程实例	(165)
(2)高浓度2段活性污泥法处理未稀释粪便的工程实例	(172)
(3)高负荷活性污泥处理未稀释粪便的工程实例	(176)
4.7 今后的展望	(179)
<b>第5章 投加凝聚剂活性污泥法</b>	
5.1 前言	(181)
5.2 原理	(181)
5.3 处理流程	(183)
5.4 净化和污泥特性	(185)
(1)水质净化	(185)



(2) 生物相	(188)
(3) 絮凝体的凝聚能力	(192)
(4) 生成污泥的厌氧分解	(194)
5.5 生产规模的应用	(196)
(1) 用硫酸铝时的净化和污泥特性	(196)
(2) 用硫酸亚铁时的净化和污泥特性	(198)
(3) 脱水性	(199)
(4) 凝聚剂的选择和维护管理	(199)
5.6 存在问题	(200)
5.7 与其它除磷方法的比较	(202)
5.8 结语	(204)
<b>第6章 氧化沟法</b>	
6.1 前言	(205)
6.2 原理和特征	(205)
6.3 处理流程和设计参数	(208)
(1) 处理流程	(208)
(2) 设计参数	(209)
6.4 从实例看诸特性	(215)
6.5 存在的问题和今后的课题	(230)
6.6 结语	(231)
<b>第7章 纯氧活性污泥法</b>	
7.1 前言	(232)
7.2 纯氧法的效果	(234)
(1) 好气性生物处理的制约速度因子	(234)
(2) 剩余污泥的发生量	(237)
(3) 有害物质的影响	(238)
7.3 反应槽的设计	(238)
(1) BOD-MLSS负荷	(238)
(2) MLSS	(239)
(3) 停留时间	(239)
(4) 氧需要量	(240)
7.4 制氧装置和曝气装置	(241)

(1)曝气槽的级数·····	(241)
(2)曝气槽的构造·····	(241)
(3)曝气装置·····	(243)
(4)氧气发生装置·····	(247)
7.5 纯氧法的应用·····	(249)
(1)用厌气-好气法处理粪便·····	(249)
(2)纯氧生物学除磷法·····	(251)
(3)臭氧的发生和利用·····	(252)
(4)纯氧污泥的再曝气效果·····	(254)

## 第8章 生物工艺学的应用

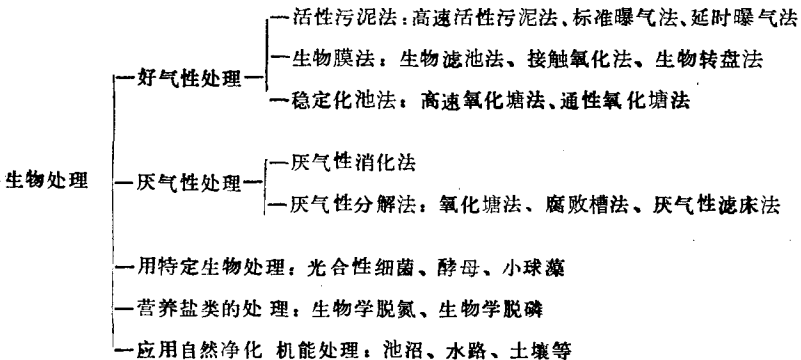
8.1 前言·····	(256)
8.2 磷的去除·····	(258)
8.3 氨的硝化·····	(258)
8.4 重金属·····	(259)
(1)重金属的来源和去除的必要性·····	(259)
(2)耐重金属菌·····	(260)
8.5 难分解性有机物的分解·····	(262)
8.6 在污泥处理上的应用·····	(262)
8.7 微生物的固定·····	(263)
(1)原理·····	(263)
(2)方法·····	(264)
8.8 膜的利用·····	(266)
(1)膜的种类·····	(266)
(2)超滤膜的应用举例·····	(267)

# 第1章 活性污泥法的处理流程

## 1.1 前言

在有机性废水处理中，把水的自净作用过程的某部分人工地使其效能很好发挥的方法正在广泛普及，这就是所谓的生物处理。在生物处理中，有活性污泥法、生物膜法、稳定化池法等好气性处理和消化法等厌气性处理。最近，以去除营养盐和回收蛋白资源为目的的特殊生物处理也在开发中。这些生物处理所包含的生物处理方法的分类如表1.1所示。一般，生物处理法中，细菌、真菌类、原生动物、微小后生动物等多种多样的微生物均与净化有关，并多能构成数十种以上的混合培养系。另一方面，废水含有种类杂多的成分，是极为复杂的多成分体系。这样，生物处理由于是用混合培养的微生物去除混合基质的过程，所以确立合理的设计标准和操作标准很困难，而必须依赖于经验和直感的情况相当多。

表 1-1 生物处理的种类



活性污泥法是生物处理中效率最高的处理方法，由于能确保良好的处理水，是世界上广泛普及的处理方法。1880年在英国和美国虽已经进行了把空气吹入污水中进行净化的实验，但是，当时活性污泥法还没有开发。英国的Andern和Lockett证实了通过把空气吹入生成的污泥循环使用可以加速污水的净化。他们于1914年把这一结果在英国化学工程学会上发表，从而诞生了活性污泥法。1917年在英国的曼彻斯特， $946\text{m}^3/\text{日}$ 设备及在美国的休斯敦 $37\,800\text{m}^3/\text{日}$ 活性污泥设备开始运行。1930年前后由于认识到了活性污泥法是受微生物的作用，Mahlmano等据此计算出微生物所需要的氧量。1942年Gould等提出分注曝气法。1944年Setter提出修正曝气法。1945年Krauss为了抑制膨胀发表了柯劳斯流程。1951年Ulrich等提出接触稳定化法。这之后，发表了高速活性污泥法、延时曝气法、曝气氧化塘法、氧化沟法、纯氧曝气法、厌气性活性污泥法、厌气-好气活性污泥法等，直至现在。本章中将对活性污泥法的概要、操作要素、与净化有关的微生物等进行描述。

## 1.2 处理流程

### (1) 基本处理流程

由于城市污水和大规模的生活污水采用活性污泥法处理，因此，这里举例来说明活性污泥法的处理流程。图1-1所示活性污泥法处理城市污水的一例。过去污水处理分为1级处理和2级处理，而现在，在2级处理之后进行3级处理（深度处理）。1级处理是去除砂与粗垃圾和用沉淀去除悬浮物质，这是活性污泥法的前处理，悬浮物少的污水，可设置调节槽。调节槽起有使水量和水质均匀化的作用。水在最初沉淀槽中停留2~数小时。把从最初沉淀槽中流出的废水叫沉淀污水；在沉淀池中沉淀的污泥叫沉淀污泥。所谓活性污泥法一般认为是从曝气槽到最终沉淀槽的：

过程。如图 1-2 所示，在活性污泥法的流程中把最终沉淀槽内的沉淀活性污泥回流到曝气槽中（回流污泥）。活性污泥法主要

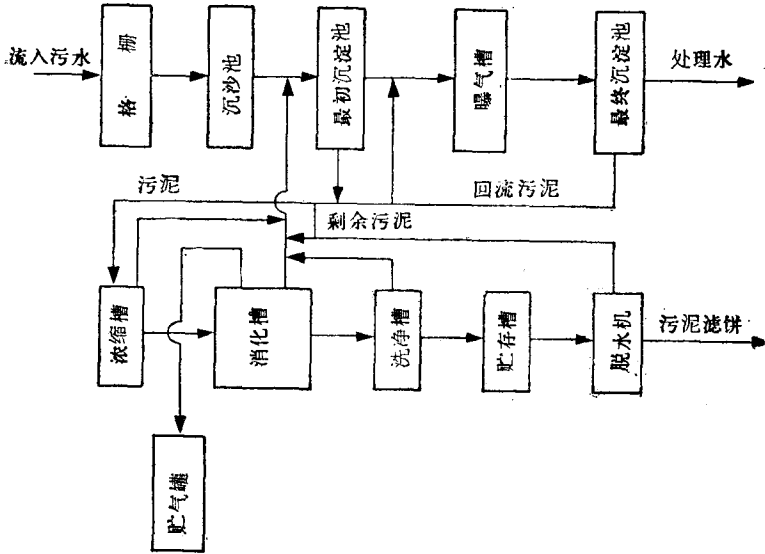


图 1-1 活性污泥法处理城市污水流程示例

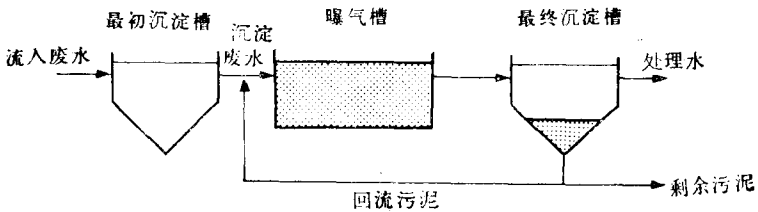


图 1-2 活性污泥法的处理流程

作用是微生物在曝气槽内的环境条件下增殖，分解污染物质，并在最终沉淀槽中这些微生物能够沉淀下来。

1级处理是以悬浮性污染源为对象，而2级处理则是用好气性微生物进行可溶性有机物的去除。在曝气槽中，沉淀污水与回流污泥混合，经曝气3~8小时，污水中的有机物成为活性污泥微生物的营养源而被去除。一般来说，城市污水的活性污泥处理中，曝气装置采用散气式。标准活性污泥法回流污泥量为污水量的25%，活性污泥和处理水的固液分离在最终沉淀槽内进行。在最终沉淀槽中停留时间一般为2~3小时，沉淀的活性污泥（剩余污泥）与最初沉淀槽的沉淀污泥一起送入污泥处理设施。这种污泥在浓缩槽内浓缩到水分为93~95%的程度，然后投入污泥消化槽中。在这里，通过37℃、20~30天时间的厌气性微生物的作用，使污泥中的有机物分解。消化后的消化污泥、分离液、气体进行分离，气体中的沼气作为燃料源贮存在贮气罐中。消化污泥在洗净槽中洗净之后，加入凝聚剂（铁盐及消石灰），用真空过滤机进行脱水。省掉消化过程直接进行浓缩污泥脱水的也很多。脱水污泥的滤饼直接填埋掉，或焚烧后进行处理。分离液、洗净废水、脱水滤液等回流到最初沉淀槽与污水一起进行处理。

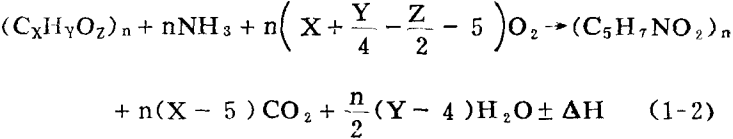
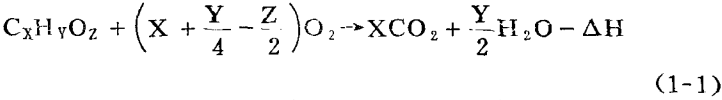
在城市污水处理中，1级处理BOD去除30~40%，SS去除50~60%左右；而活性污泥法BOD去除85~95%，SS去除90~95%，COD去除75~85%，T-N去除20~30%，T-P去除30~40%左右；处理水质为BOD<sub>10</sub>~20mg/l，SS<sub>5</sub>~10mg/l，COD<sub>15</sub>~30mg/l，T-N<sub>15</sub>~30mg/l，T-P<sub>1</sub>~5mg/l，大肠菌群500~1000/ml左右的情况为多。另外，在城市污水的活性污泥法处理中，处理水最好时可达BOD<sub>5</sub>~7mg/l，SS<sub>1</sub>~3mg/l的程度。

## (2) 净化原理

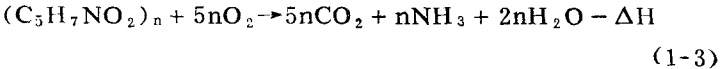
活性污泥法是把河流中的自净作用的一部分在槽中人工地使其效能很好发挥的过程。也就是，把废水中的有机物利用细菌和

微型动物等微生物的代谢进行分解处理的方法。微生物的代谢可分为好气性和厌气性，而活性污泥法是好气性代谢的典型应用。

在好气性代谢中，碳化合物变成二氧化碳和水，氮化合物变成氨和硝酸盐。在厌气性代谢中，有机物经过有机酸、乙醇等分解成最终产物二氧化碳、氢气、硫化氢、氮、甲烷等，其最终产物与好气性代谢有所不同。好气性代谢有机物合成微生物体的比例高，而厌气性代谢其合成比例非常小。好气性代谢由好气性微生物承担，在氧存在的条件下，如下式利用氧分解废水中的有机物而获得能量（呼吸），并利用这个能量的一部分合成新的原生质。



另外，微生物同时将其一部分通过自身氧化，进行如下式的氧化分解。



$\pm \Delta H$ —反应中被利用的能量

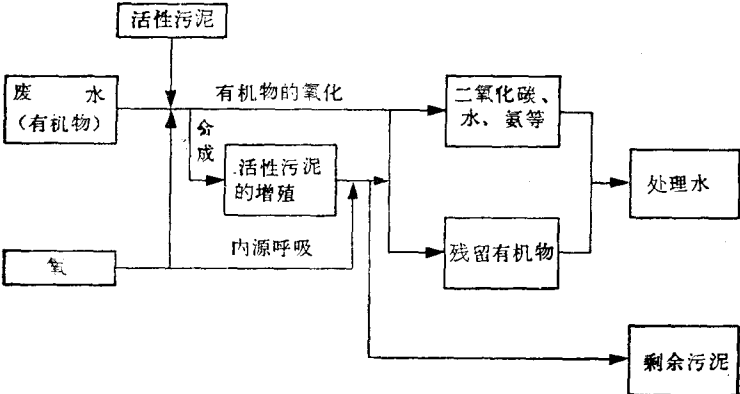


图 1-3 活性污泥法净化机理模式图

活性污泥的净化机理模式图如图 1-3 所示。以 BOD 表示流入水中所含的有机物，除一部分随处理水流出外，大部分被微生物体去除。通过内源呼吸不能氧化的细胞物质成为剩余污泥。在内源呼吸中既利用细菌等能够直接摄取有机物的微生物，也包括原生动物等微型动物的捕食作用。有机物只用细菌等腐生营养性的微生物就能去除，但是，为了达到处理目标，原生动物等动物性营养的微生物的捕食作用的存在是不可缺少的。即所谓有机物→细菌→原生动物→微小后生动物之食物链的存在是必要的。由于食物链越长能量消耗的比例就越大，其系统中存在的生物量也就越少。纤毛虫类和轮虫类、寡毛类的收率表示在表 1-2 中。为了减轻活性污泥法剩余污泥的处理和处置的负担，能尽量减少剩余污泥发生量的操作一直是人们所期望的。以细菌为食料的纤毛虫类的收率约为 0.50%，如果纤毛虫类在活性污泥中增殖，意味着发生的生物量以此相应的少了。

表 1-2 纤毛虫类、轮虫类、寡毛类的收率

	微型动物名称	食物源微生物	收率
纤毛虫类	小口钟虫 ( <i>Vorticella microstoma</i> )	粪产碱菌 ( <i>Alcaligenes faecalis</i> )	0.53
纤毛虫类	弯豆形虫 ( <i>Colpidium campylum</i> )	同上	0.48
纤毛虫类	梨形四膜虫 ( <i>Tetrahymena pyriformis</i> )	同上	0.50
轮虫类	旋轮虫 (特定种) ( <i>Philodina</i> sp.)	活性污泥细菌 (混合培养)	0.37
寡毛类	红斑颤体虫 ( <i>Aeolosoma hemprichi</i> )	生物膜细菌 (混合培养)	0.14

另外，由于轮虫类的收率为 0.37，这与摄取细菌的原生动物相比产生生物量也减少了。还有，如果捕食纤毛虫类的微小后生动物增殖，产生的生物量就更小了。在一般的活性污泥法中微小后生动物占优势增殖的场合，经验表明，与其它情况相比较，污泥



发生量减少20~30%。这是除内源呼吸外，由微型动物的收率小而引起的。另外，生物膜法的污泥发生量比活性污泥法少，因为这是生物膜上微小后生动物充分增殖的缘故。无论如何，为了使污泥发生量减少，微型动物的存在是不可缺少的。由此进一步发现纤毛虫类和轮虫类对于提高处理水质作用也很大。

关于活性污泥中微型动物的作用表述如下：

- ①促进细菌凝聚，提高细菌的沉降效率；
  - ②微型动物，特别是固着性和匍匐性的微型动物迅速地沉降，在其沉降过程中或卷带细菌，或使细菌附着在微型动物的分泌物上提高细菌的去除率；
  - ③由于微型动物捕食细菌，分散性细菌大部分被去除；
  - ④通过微型动物对细菌捕食的间苗效果使细菌活化，从而使细菌摄取可溶性有机物的能力增大；
  - ⑤微型动物的分泌物使细菌活化；
  - ⑥微型动物自身也摄取可溶性有机物；
  - ⑦由于微型动物的运动，提高了物质向活性污泥絮凝体方向的移动；
  - ⑧由于微型动物的呼吸，使生物量的产生量减少。
- 对于以上每一条作用，虽然不能脱离推定的范围，而这些几乎都应归结于微型动物的捕食作用。

### (3) 活性污泥法的操作因素

#### 1) MLSS和BOD负荷

由于生物处理是各种微生物摄取有机物，与净化有关的微生物浓度理应是最重要的操作条件。不过，由于活性污泥中含有许多不活性物质，不可能单独提取微生物测定其浓度。再者，分别测定各种微生物更是非常困难的。这样，微生物浓度不容易测定就成为生物处理难于合理管理的原因之一。例如，即使活性污泥中含有砂和蔬菜碎片，也作为MLSS（活性污泥浓度）被测定。如果流入废水的SS高，活性污泥的微生物含量就小。