

废水
生物处理
理论与
应用

中国建筑工业出版社

废水生物处理理论与应用

[美] C.P.小莱斯利·格雷迪 编著
亨利 C.利姆

李献文 杨西崑 张玉贵 傅振铎
罗祥麟 俞天玫 王真杰 仇萍秋 译
朱锦文 周炳揆

秦裕昕

林秋华 校

中国建筑工业出版社

本书主要论述废水生物处理中的生物化学和生化反应器系统的理论和应用技术。

第一篇论述废水处理对象，生化环境和生化反应器的型式，及它们对反应器性能的影响。

第二篇在论述反应器的反应动力学和化学计量学后，又详细论述反应器工程中反应器型式和动力学之间的互相关系。

第三篇介绍生物化学和微生物学的要素，以便了解废水生化操作的功能。

第四篇用数学模型来描述各种反应器操作的理论性能，以便相应改变各种反应器的运行条件，适应生化操作的要求。

第五篇论述生物化学和反应器理论在生化操作中的应用，通过控制实际约束条件以保证生物处理系统的正常运行性能，同时将使读者获得废水生化操作的合理设计依据。

本书可供从事给水排水、环境工程的科研、设计、教学和生产单位的专业技术人员参考。

BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

Theory and Applications

C.P.Leslie Grady, Jr. and Henry C.Lim

废水生物处理理论与应用

李献文 杨西崑 张玉贵 傅振铎 罗祥麟 译
俞天政 王真杰 仇萍秋 朱锦文 周炳揆
秦裕珩 林秋华 校

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 1/16 印张: 37 字数: 896 千字

1989年×月第一版 1989年×月第一次印刷

印数: 1—2,500 册 定价: 29.50元

ISBN7-112-00436-5/X·12

(5551)

译 者 的 话

《废水生物处理理论与应用》一书由美国MARCEL DEKKER公司出版，由美国Purdue大学土木工程学院和化学工程学院的C·P·小莱斯利·格雷迪和亨利C·利姆共同编著。

全书共分五篇，包括生化操作分类，反应器工程基础，生化和微生物基础，理想生化反应器的数学模型的理论，已命名的生化操作的应用。共二十二章，内容较全面，是目前对废水生物化学处理从理论到应用的叙述最全面、最详细的一本书。

本书的特点是将化学工程中的反应器理论应用到废水生物化学处理中，详细阐述生物化学反应器系统的工作机理和它的数学表达式，从理论上解决了许多以往需要通过科学试验来解答的问题。

本书理论和应用并重，对理论问题的论述上采用大量的数学模型进行分析、计算，相当系统、全面。在应用上，对各种常用的废水生物处理装置，构筑物的构造型式，设计方法，设计程序等都作了详细介绍，并列举许多实例，在每章末附有设计计算例题，便于读者加深理解。

本书内容丰富，可供高等院校给水排水及环境工程专业学生和研究生参考，也可供从事水处理技术科学研究和设计的工程技术人员使用。

原书篇幅较大，译者较多，同时涉及的专业面广，论述内容较深，限于水平，译文中错误与不妥之处在所难免，热忱欢迎读者批评指正。中译本删去了原版中对国内读者参考价值不大的文献索引，对原书中的错误作了订正，有的还加了译注。

参加本书翻译的有：

李献文——第一、二、三、四、五章

杨西崑——第七、二十二章

张玉贵——第八、九章

傅振铎——第十、十一章

罗祥麟——第十二、十三章

俞天玫——第十四、十六章

王真杰——第十五、十六章

仇萍秋——第十七、十八章

朱锦文——第十九、二十章

周炳揆——第二十一章

全书第十、十一、十五、十六、十七、十八章由林秋华同志校外，其余各章由秦裕珩同志总校。

译 者

前 言

通常，废水处理过程的各个组成部分可以分类为物理、化学和生化单元操作，而对与它们运行状况有关的原则的透彻了解是成功地进行过程设计的先决条件。这种通过“单元操作入门”去学习过程工程的办法已被化学和环境工程界广泛接受。有若干适用的论述物理和化学操作基本原理和说明其实际应用的书籍。本书的目的是提供关于生化单元操作的类似论述。虽然，在任何一本书中都需要一定数量的入门材料，而作者们编书的前提是假定读者已熟悉通常用于废水处理的过程系列，而要在此书中透彻地理解生化操作的原理和应用。在过程系列中各种操作之间有着内在的相互影响，而这些影响将予以注意并在适当时讨论。

要了解废水生物处理操作就需要具备两个主要领域的知识：微生物学和反应器工程，环境工程专业的学生一般对前者有足够的训练，而较少接触后者。对化学工程的学生而言，一般则恰好相反。因此，当我们准备编一本能适用于教这两种专业的高年级大学生和低年级研究生的教科书时，明显的是这两类学生对基础有不同的需要，而且在可以转入我们关心的主题之前，上述需要必需分别得到满足。我们的回答是书中的材料要满足各方面的需要。所以此教科书适用于范围广泛的各类人员，包括那些在两个领域中皆需要培养的人。

此书按下列五篇编写：

第一篇 导言

第二篇 反应器工程基础

第三篇 生化和微生物基础

第四篇 理论：理想生化反应器的数学模型

第五篇 应用：命名的生化操作

学习废水生物处理的学生所面临的第一个问题是去理解那些已为各种生化操作所确定的、有时是难懂的名称。第一篇按照处理对象、生化环境和反应器形式去描述“已命名的生化操作”，就克服了以上问题。当学习了生化环境和反应器形式对生化反应器性能所起的重要作用以后，读者或者继续学第二篇，或者学第三篇，而为第四篇的理论学习做好准备。在第二篇中，介绍了动力学和化学计量学以后，又足够详尽地扩展了反应器工程的概念，使读者可以应用它们。这是非常重要的，因为这提供了基础，由此而对怎样考虑反应器形式和动力学相互影响以确定发生于任一系统中的反应范围加深了理解。第三篇介绍了生物化学和微生物学的要素，以便读者了解废水生化操作的功能，因而提供了对它们的局限性的估价。这是重要的，因为在第四篇中将用数学模型去说明各种操作的理论性能，而不了解局限性可能会使读者做出不正确的推断。无论如何，在获得必要的基础知识以后，就为读者学习第四篇中应如何相应地改变各种完善的反应器的运行条件，从而为理解为什么废水生化处理系统要象它们所起作用的那样运转而打下基础。在这一篇中推导了性能方

程式，并且探讨了单级连续流搅拌池反应器、串联反应器、有回流的反应器和长着固定生物膜的反应器。最后，在第五篇中将理论应用于曾在第一篇中介绍过的通用的已命名的生化操作。即使在這些应用中，当理论尚不完善时，或者当必须应用实际约束条件以保证该系统在实际使用中能正常地起作用时，也仔细地予以说明。遇到这种情况，将使读者获得设计废水处理生化操作的合理依据，其中包括了在实践中所取得的知识。

C.P.·小莱斯利·格雷迪

亨利C·利姆

目 录

前言

第一篇 绪 言

第一章 生化操作的分类	3
1.1 分类的依据	3
1.2 通用的“已命名”的生化操作	7
1.3 要点	10
1.4 作业	10

第二篇 反应器工程基础

第二章 化学计量的关系、反应速率和质量平衡方程式	13
2.1 化学计量方程式	13
2.2 反应速率	14
2.3 质量平衡方程式	16
2.4 多级反应的化学计量关系	23
2.5 要点	24
2.6 作业	24
第三章 反应速率方程式	26
3.1 术语	26
3.2 基元反应	28
3.3 非基元均相反应	33
3.4 温度对反应速率常数的影响	37
3.5 要点	38
3.6 作业	39
第四章 反应器设计	41
4.1 单级反应的单级反应器	41
4.2 单级反应的多级反应器	58
4.3 多级反应的反应器	71
4.4 有外部回流反应器	78
4.5 要点	81
4.6 作业	82
第五章 反应速率数据的分析和反应速率方程式的确定	87
5.1 代数方法	88

5.2 微分方法	92
5.3 积分方法	97
5.4 要点	104
5.5 作业	105
第六章 非理想流动型式的反应器	109
6.1 示踪剂在理想反应器中的流动	109
6.2 非理想流动型式	114
6.3 非理想流动型式反应器的模型	119
6.4 要点	128
6.5 作业	128

第三篇 生化和微生物基础

第七章 生化反应器的生态学	133
7.1 微生物在自然界的作用	133
7.2 微生物分类	136
7.3 微生物群落中的相互作用	144
7.4 生化操作中的微生物生态系统	146
7.5 要点	150
7.6 作业	151
第八章 代谢——生化转化的关键	152
8.1 微生物细胞的成分	153
8.2 微生物的营养	156
8.3 代谢的化学性质	158
8.4 代谢途径	160
8.5 代谢的调节	173
8.6 要点	177
8.7 作业	178
第九章 动力学和生化效率	179
9.1 能量的保存	180
9.2 能量的利用	185
9.3 生长量	187
9.4 微生物生长的化学计量法	192
9.5 要点	198
9.6 作业	199
第十章 生化系统的动力学	201
10.1 酶动力学	202

10.2 在微生物培养物中产生的各种现象	209	14.7 作业	374
10.3 细胞生长与基质利用	209		
10.4 微生物的死亡与存活率	217	第五篇 应用: 已命名的生化操作	
10.5 微生物的衰减	219	第十五章 完全混合曝气塘	379
10.6 影响动力学的物理因素	221	15.1 完全混合曝气塘系统的概况	379
10.7 要点	224	15.2 完全混合曝气塘系统的性能	382
10.8 作业	225	15.3 完全混合曝气塘系统的设计	386
第十一章 净化作用的测定	228	15.4 完全混合曝气塘系统的运行	395
11.1 不溶物质的测定	228	15.5 完全混合曝气塘的应用实例	395
11.2 溶性物质的测定	228	15.6 要点	397
11.3 需氧量的概念	229	15.7 作业	398
11.4 可生物降解的有机物的测定试验	230	第十六章 活性污泥法	400
11.5 要点	234	16.1 活性污泥法概况	401
11.6 作业	234	16.2 活性污泥法的性能	408
		16.3 设计	422
第四篇 理论: 理想生化反应器的数学模型		16.4 活性污泥法的运行	435
第十二章 连续流搅拌池式反应器 (CSTR)	237	16.5 活性污泥法的实例	441
12.1 单级CSTR	237	16.6 要点	442
12.2 多级CSTR串联	255	16.7 作业	445
12.3 模型的验证	267	第十七章 好氧消化	447
12.4 确定动力参数的技术	268	17.1 好氧消化的概况	447
12.5 要点	276	17.2 好氧消化池的性能	449
12.6 作业	277	17.3 好氧消化池的设计	452
第十三章 有细胞回流的连续流搅拌池反应器	280	17.4 好氧消化池的运行	460
13.1 单级CSTR	281	17.5 好氧消化的实例	461
13.2 多级CSTR串联	301	17.6 要点	461
13.3 模型的验证	318	17.7 作业	462
13.4 确定动力参数的技术	319	第十八章 生物滤池	464
13.5 要点	325	18.1 生物滤池的概况	464
13.6 作业	327	18.2 生物滤池的性能	469
第十四章 固定膜反应器	330	18.3 设计	475
14.1 外传质阻力对固体表面反应的影响	331	18.4 生物滤池的运行	481
14.2 内传质阻力对平面固定膜内部反应的影响	339	18.5 生物滤池的实例	481
14.3 外传质阻力和内传质阻力综合对发生在平面固定膜内部反应的影响	348	18.6 要点	482
14.4 填充塔	351	18.7 作业	483
14.5 转盘反应器	361	第十九章 生物转盘	485
14.6 要点	372	19.1 生物转盘的概况	485
		19.2 生物转盘性能	488
		19.3 设计	492
		19.4 生物转盘的运行	499
		19.5 生物转盘的实例	500
		19.6 要点	502

19.7 作业	502	21.4 厌氧过程的运行	554
第二十章 硝化	504	21.5 实例	559
20.1 概况	504	21.6 要点	560
20.2 性能	506	21.7 作业	561
20.3 设计	515	第二十二章 反硝化	563
20.4 运行	526	22.1 反硝化系统概况	563
20.5 实例	527	22.2 反硝化系统的性能	566
20.6 要点	528	22.3 反硝化系统的设计	574
20.7 作业	529	22.4 反硝化系统的运行	580
第二十一章 厌氧消化和厌氧接触	531	22.5 实例	581
21.1 厌氧操作概况	532	22.6 要点	582
21.2 厌氧操作的性能	537	22.7 作业	583
21.3 设计	546	英文缩写字译名表	584

第一篇 绪 言

第一章 生化操作的分类

1.1 分类的依据

1.1.1 生化环境

1.1.2 生化转化的性质

1.1.3 反应器的形式

1.2 通用的“已命名”的生化操作

1.2.1 曝气塘

1.2.2 活性污泥

1.2.3 好氧消化

1.2.4 生物滤池

1.2.5 生物转盘

1.2.6 硝化

1.2.7 厌氧接触

1.2.8 厌氧消化

1.2.9 反硝化

1.2.10 其它操作

1.3 要点

1.4 作业

由活的微生物进行化学转化的生化操作有许多用途。酿造和制酒是最古老的并可能是最广泛理解的两个例子。已进行的医药革命主要是由于在制药工业中采用了生化操作而生产出奇妙的药品。最后，当然是生化操作在废水处理中起了巨大的作用，虽然它的很多专业名称在确定过程中并没有更多地考虑它的基本机理。事实上，在最常见的操作——活性污泥法，在其生化性质尚未弄清以前就已经命名。这种情况常常使那些试图学习这些操作者感到困惑。因此，在开始学习各种操作之前，先弄清它们是什么和能干什么，可能是明智的。

1.1 分类的依据

生化操作的分类可由以下三方面去探讨：（1）生化环境；（2）生化转化的性质；（3）反应器形式。假如同时考虑了这三方面，可得到详细的分类系统，这将有助于工程师去选择最适合他需要的操作。

1.1.1 生化环境

进行生化操作有两种主要环境：好氧的和厌氧的。好氧环境指的是在其中有足够的溶

解氧,因而不会限制生化速率的环境。在好氧环境中,微生物以一种有效的方式进行代谢和生长,氧气作为最终的电子受体。厌氧环境指的是在其中或者没有溶解氧(并且不进入系统),或者氧的浓度低到足以限制好氧代谢。在厌氧环境中,某些物质而不是氧气作为最终电子受体。假如这种物质本身是一种有机分子,这种系统就称为发酵。假如最终电子受体是无机物质,这种培养就称为进行厌氧呼吸。

生化环境对微生物群体的生态影响极大,好氧操作趋向于供养整个食物链,由底部的细菌直至顶部的轮虫。另一方面,厌氧操作虽然在生态方面也是复杂的,却趋向于含有优势的细菌群体。生化环境影响细胞的生物化学,因为好氧有机体采用多种代谢途径,它有别于厌氧有机体,这意味着好氧操作可以进行的某些转化,在厌氧情况下则不能完成,反之亦然。

1.1.2 生化转化的性质

可溶性有机物的去除 生化操作的一种主要用途是去除可作为微生物食料来源的可溶性有机物。当发生这种情况时,一部分碳转化为二氧化碳,而其余部分则结合到新的细胞物质中。二氧化碳转变为气体,细胞物质在物理操作中被去除,使废水不再含有原有的有机物。

好氧的培养特别适于去除浓度范围为 $50 \sim 4000 \text{ mg/L}$ 的有机物,其浓度以可生物降解的化学需氧量(COD)表示。在浓度较低时,常常证明用炭吸附法更为经济。厌氧生化预处理常常用于浓度超过 4000 mg/L 的废水,为的是减少在随后的好氧操作过程中必需提供的氧量。假如需去除的有机物浓度在 50000 mg/L 以上,则蒸发和焚烧或者湿式燃烧可能更为经济。必需强调,所列浓度指的是可溶性有机物,假如有机废物是悬浮的或胶体的,用物理的或物理化学的方法处理常常更便宜和更容易。虽然可溶性废物和胶体废物的混合物按惯例是用生化方法处理。

不溶有机物的稳定化 在水系统中,有机固体在高固体浓度时一般以悬浮液的形式出现。传统上它的稳定化是以厌氧方式进行的,不过近十年来使用了很多好氧反应器。这类稳定化的最终产物是无机固体和一些不溶的有机残留物。相对地说,有机残留物是进一步发挥生物活性的阻力,其性质与腐植质相似。厌氧操作的附加产品是甲烷气。附带地说,在悬浮液系统中,稳定化反应也可以在基本上是潮湿的固体(例如固体浓度超过30%)中进行。这些通常是好氧的,其最终产物是类腐植质物质,可用作土壤调节剂和肥料。

可溶性无机物的转化 自从六十年代发现富营养化对湖泊的影响以后,才比较注意从废水中去除无机化合物的方法。形成无机化合物污染的主要原因之一是可溶性磷酸盐,并且提出以好氧操作来去除它。近来对是否是真的生化操作有相当多的争论。涉及无机化合物转化的比较明确的生化操作就是通过两类自养型好氧细菌的代谢作用将氨氮转化为硝酸盐氮。在平衡的厌氧呼吸作用中利用硝酸盐作为最终的电子受体,氮气作为最终产物而被释放,从而完全去除氮。工程师掌握其它发生于自然界的无机物转化的作用机理,将有助于他们对转化的控制。其中包括将硫酸盐离子经厌氧转化为硫化物离子而形成既有害又有毒的条件。同样重要的是在好氧条件下将硫化物离子转化为硫酸盐离子,其结果是形成腐蚀的条件。

1.1.3 反应器的形式

赫伯特(Herbert)曾建议按照反应器类型进行生化操作的分类。这已在图1.1中表

明。按反应器类型分类的重要性是不管在反应器中发生什么样的生化转化，只要给定反应器的类型，就可按大致相同的方式分类。因此，在开始研究能进行特定转化的操作之前，获得许多有用的反应器的明确的概念是重要的。

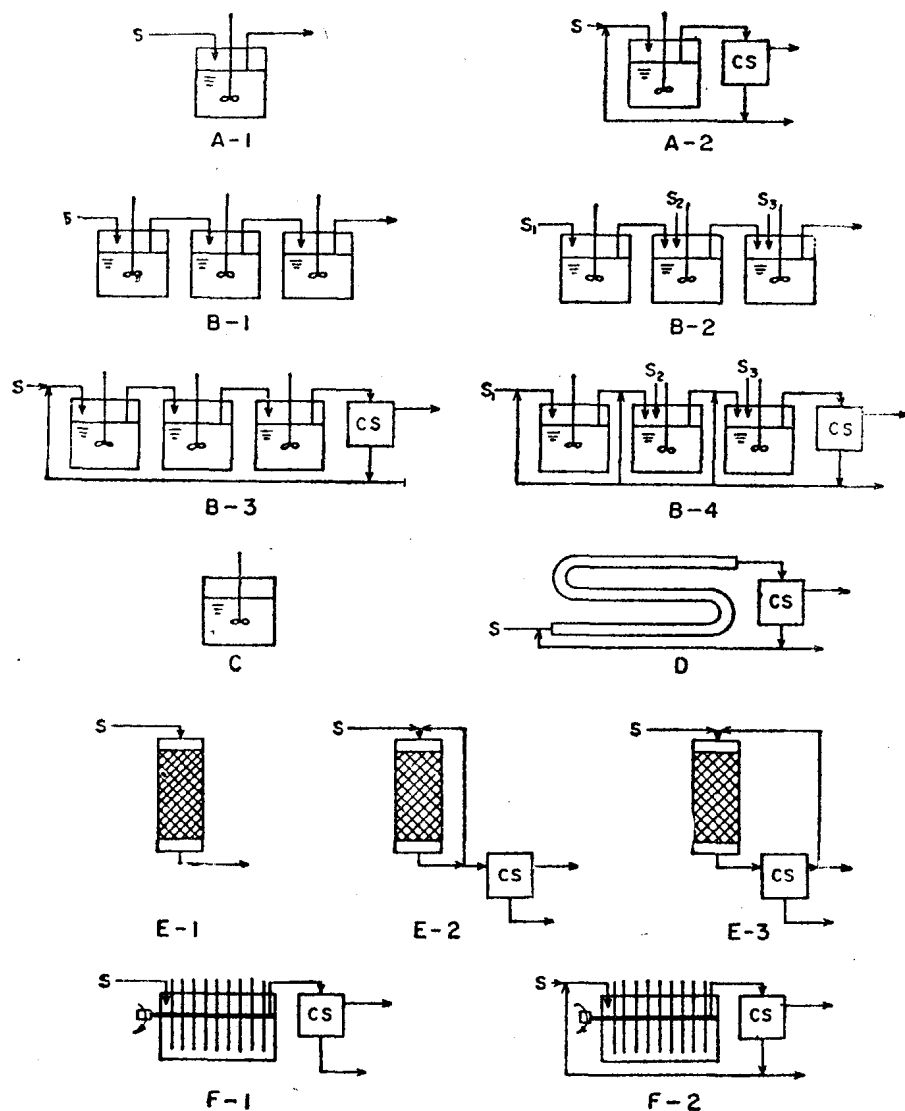


图 1.1 生化反应器的类型

S为投入的基质，CS为细胞分离。

A：单级CSTR，1—细胞不回流；2—细胞回流。

B：多级CSTR，1—简单串联；2—多级投加基质；3—有细胞回流的简单串联；4—多级投加基质和细胞回流。

C：分批式反应器。

D：推流式反应器。

E：填充塔，1—简单塔；2—细胞分离前回流；3—细胞分离后回流。

F：转盘式反应器，1—没有回流；2—有回流

连续流搅拌池式反应器 (CSTR)(A) 可能是最简单的连续流悬浮液反应器系统, 含有基质的液流进入反应器, 而排出含微生物的悬浮液流, 用某种液位装置使液体体积保持不变, 而根据水力停留时间控制反应器的运行。混合是充分的, 使得反应器中的浓度自始至终保持均匀, 因此这种反应器也称为完全混合反应器。混合使培养物保持在稳定的正常生理状态下, 增加一个可回流部分微生物的细胞分离器, 由此而取得相当的灵活性。这就是反应器的性能取决于细胞停留时间而不是水力停留时间的原因。在正常运行时, 细胞分离器顶部排出液中没有微生物, 而底部则排出浓缩污泥。将部分浓缩液回流, 而将剩余细胞废弃。

将2~4个搅拌反应器串联, 就形成另一种形式(B)。可能将进料只投入第一级反应器, 也可能投入每级反应器中。此外, 可以在整个系列或者任一部分进行细胞回流, 这样做使得系统的情况变复杂了, 因为当细胞通过一个个反应器时, 其生理状态也在改变。多级系统的优点之一是每一级所进行的反应不同, 即使当所有的基质都投入第一级时, 也可发生上述不同的反应, 原因是正常的代谢控制着它们的作用机理。当投加多种基质时, 为了得到微生物生理状态的最有利条件, 常常可能将不同的基质投入后面的反应器。

在分批式反应器(C)中无连续流; 而是将一“批量”物料投入容器, 接种后, 微生物即可生长。在生长过程中, 反应条件在变化, 生长环境也随之变化, 这就导致象常见的“细菌生长曲线”那样, 在不同时间出现的细菌处于不同的生理学状态, 而不可能是稳态的。完全的推流式反应器(D)可认为是移动的分批培养, 因为通过反应器的每个流量的增量皆不受其前后两侧的影响。为了提供开始生长所必需的接种, 回流是必要的, 同时从进口到出口细胞的浓度将增加。它与CSTR的唯一重要区别是反应器中不同点的细胞处于不同的生理状态, 这就使整个反应器达不到稳态。但是, 在反应器中某一特定点的条件不随时间而变时, 也可得到某种类型的稳态。尽管事实上对“分批生长曲线”的认识远早于在稳定条件下(也就是CSTR)微生物生长的性质, 由于改变生理条件所引起的极端复杂性, 使我们对于分批式或推流式系统的模拟能力还远远不足。

图1.1中反应器A~D皆可归类于悬浮液反应器, E和F可认为属于“固定膜”。在填充塔(E)中, 有机体在固定支持物(例如岩石或塑料滤料)上生长成一层膜。滤料并不淹没, 而是以薄薄一层水流在滤料上流过。假如不回流, 当细菌去除基质时, 从塔顶至塔底的反应环境有相当大的变化。将液流回流到塔内会缓和反应环境的变化。回流量越大, 则反应环境越类似。回流方式会强烈影响这种类型反应器的动力学。为了获得稳定的条件, 有机体不断地从固体表面上脱落。假如在回流前将这些有机体去除, 则主要靠附着在滤料上的有机体去除基质。另一方面, 假如在去除脱落的有机体之前将水流回流, 则液流与悬浮液反应器类似, 将由固着的和悬浮的有机体共同去除基质。

在转盘式反应器(F)中, 微生物附着在塑料盘上生长, 此盘在液体中转动。假如反应容器相对于流量而言是小的, 则自始至终环境条件将相对地说是相同的。但是, 假如使用长的矩形槽, 反应条件将沿池长而变化, 以至于各个盘上有机体的生理条件是不同的, 将脱落的有机体回流, 将使反应器的作用方式介于悬浮液系统与固定膜系统之间。

也可能采用另外一些反应器系统, 其中有一些只是已列出反应器的改进型, 而另一些是完全不同的。无论如何, 熟悉图1.1中所示反应器的类型将满足大多数情况下的需要。

1.2 通用的“已命名”的生化操作

通过多年的使用与研究，几乎所有领域中的某些操作皆得到了通用的名称。这类名称未必都合乎逻辑，由于它们的历史意义而被承认与接受。许多通用的生化操作的应用早于

通用的“已命名”的生化操作 表 1.1

1. 曝气塘
2. 活性污泥
3. 好氧消化
4. 生物滤池
5. 生物转盘
6. 硝化
7. 厌氧接触
8. 厌氧消化
9. 反硝化

对它们作用原理的了解。因此，某些名称被用于不止一种反应器形式，并且在某些情况下不止一种操作对象。为了便于讨论，选择了九种通用的名称，并列于表1.1。为了说明这些名称与前面讨论过的分类清单的关系，编制了表1.2。表1.2以矩阵标号形式表示，其横向为操作对象，纵向为反应器形式。矩阵的每一区段置入三种分类中的一种。假如操作对象和反应器类型的组合适合

某种已命名的操作，则可得出其名称，若某种组合是可能的，但很少见，假如曾经出现过，则以一个星号表示，对那些曾经试用过但应用还不广泛的组合，则用两个星号表示。

已命名的生化操作分类

表 1.2

反 应 器 形 式	对 象	去除可溶性有机物		稳定不溶有机物		转化可溶性无机物	
		好氧环境	厌氧环境	好氧环境	厌氧环境	好氧环境	厌氧环境
A 1	曝气塘		厌氧接触	好氧消化	厌氧消化	氧化塘	* *
A 2	活性污泥		厌氧接触	好氧消化或活性污泥	厌氧消化	硝化	反硝化
B 1	曝气塘		* *	* *	* *	*	*
B 2	曝气塘		*	*	*	*	*
B 3	活性污泥		* *	* *	* *	硝化	*
B 4	活性污泥		*	*	*	硝化	*
C	活性污泥		*	好氧消化	厌氧消化	*	*
D	活性污泥		*	活性污泥	*	硝化	*
E	生物滤池		* *	—	厌氧滤池	硝化	反硝化
F	生物转盘		*	—	—	硝化	*

* = 有可能，但很少见；* * = 有可能，但不普遍。

1.2.1 曝气塘

一般可将曝气塘归类于完全混合反应器，它不进行细胞回流。曝气塘一般是大的土池子，用表面曝气机进行混合和充氧。当水力停留时间长时，可很好地去去除可溶性有机物。假如只有曝气塘处理废水，于是必须采取某些措施去除微生物。这常常要在大型静止塘中完成。假如曝气塘仅作为预处理装置，则细胞随液体排出。此操作的主要目的是去除溶性

有机物，将溶性有机物转化为微生物细胞。可是曝气塘与活性污泥的主要区别为在曝气塘中微生物通常以游离状态生长而不形成絮凝体。

1.2.2 活性污泥

“活性污泥”在表1.2中出现了七次，说明它不是一种类型很明确的术语，一般都用它表示一种好氧微生物的絮凝污泥，它可去除废水中的有机物，然后常用沉淀方法再将它本身去除。活性污泥最适用于去除可溶性有机物，因为通常能更经济地用物理-化学方法将不溶有机物去除。然而，废水常常同时含有溶性有机物和不溶有机物。假如可溶性有机物的浓度大于 50mg/L （以可生物降解的COD表示），即可采用活性污泥过程。在这种条件下，采用活性污泥去除不溶有机物往往也比较经济，这时是由吸附和絮体内的物理截留而将它去除的。因此，这种操作的动力学仍受可溶性有机物浓度的支配，并且能相当充分地解释清楚。

活性污泥是在分批式的基础上首次使用的。在每个曝气阶段的结尾出现了污泥，经沉淀并排出澄清的废水后，污泥就留在反应器中，当这种分批过程重复时，这种污泥增长并能在容许的反应时间内更彻底地去除有机物。虽然这种去除活性的增加是由于有生命微生物培养物的增长，而早期的研究者并不了解其原因，他们用“活性”来表示污泥的特性，并因此而定出它的名称。这种分批的或“充满与放空”的技术虽已少见，但在某些很小的装置中仍在使用的。

当连续运行的要求不断增加时，通过采用类似于推流式反应器的长曝气池而以连续流取代了分批式操作。曾试验过多种改良的推流式反应器，其中有一种沿池长在不同点上投入基质，其方式与串接CSTR的多点投料类似。在二十世纪五十年代中期，好几位工程师开始倡议采用有细胞回流的CSTR，作为不同于传统的活性污泥反应器的另一方案，这是因为前者具有特有的稳定性。这种稳定性再加上在细胞生理状态方面的优点，使得最近十年来CSTR的应用增多了。最近几年尝试用纯氧进行氧的传输已经成功。氧传输系统的效率取决于串联完全混合反应器的应用，因此这种氧传输的新技术增进了人们使用多级CSTR系统的兴趣。

1.2.3 好氧消化

好氧消化是给在悬浮液反应器中对不溶有机物进行好氧破坏所取的名称。通常采用固体停留时间很长的CSTR作为好氧消化池，使有机碳大部分转变成 CO_2 具有充分的时间。如果固体被破坏，也就是废弃细菌的减少，这主要是内源衰减的结果。好氧消化常用于清除在处理可溶性有机物过程中形成的剩余活性污泥。它也常常用于小型的“可移动装置”。有时好氧消化可去除可溶性有机物的同一反应器中进行，这时则取名“延时曝气活性污泥（法）”。在这种特殊情况下，通常也发生硝化作用。某些很小的设备，如在牛奶场中，固体的好氧消化采用充与排半分批式操作。

1.2.4 生物滤池

生物滤池是用以描述填充塔式固定膜反应器的通用名称。直至二十世纪六十年代中期，生物滤池使用石料，这就将其高度限制在 2m 左右。最近这些年来使用了塑料滤料，它与蛋类包装箱相似并容许大量的空气在塔内通过。由于塑料填料的空隙较大和重量较轻，塑料滤料生物滤池又是自身支承，高度可达 6.7m 。废水以薄薄一层在滤料表面流过，在滤料上生长微生物膜，有机体以可溶性有机物为碳源和能源。按照传统，生物滤池被用