

钱 易 米祥友 主编

现代废水 处理新技术



X703

V35

372302

现代废水处理新技术

钱 易 米祥友 主编

中国科学技术出版社

• 北京 •

[京]新登字175号

图书在版编目(CIP)数据

现代废水处理新技术/钱易, 米祥友主编. —北京: 中国科学技术出版社, 1993.7

ISBN 7-5046-0957-9

I. 现…

II. ①钱…②米…

III. 废水处理-技术

IV. X703

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路32号 邮政编码: 100031

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: 850×1168毫米 1/32 印张: 18.5 字数: 476 千字

1993年5月第一版 1993年5月第一次印刷

印数: 1—4500册 定价: 16.80元

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了近年来国内外研究开发的各项城市废水处理新技术，对废水处理的各项新工艺新流程的工艺特征、设计运行参数、处理效果和应用范围等均作了详细的分析及说明，并列举了一些应用实例。全书共16章，内容包括国内外废水处理技术的发展动向；革新的活性污泥法流程；厌氧生物处理新工艺；城市废水的天然净化系统；与城市废水回用相应的处理工艺；污泥的处理处置与利用；废水处理厂的设计与运行以及节能措施；工业废水与城市废水的合并处理问题等。

本书可供城市和工业废水处理设计、研究、运行人员，有关中高等院校师生，厂矿环保技术人员，有关部门领导和管理人员等参考使用。

序

顾夏声

水污染是我国城市面临的严重环境问题之一，它不仅破坏了生态，加剧了水荒，还严重地危害着工农业生产和人类的健康与安全。

我国城市每年排放废水总量约为354亿米³，城市废水处理量却仅为排放量的3.3%。大量废水不经处理直接排入天然水体，使我国82%以上的河流湖泊受到了不同程度的污染。据估计，每年因水污染造成的经济损失约为400亿元。

为减轻、消除水污染所造成的不良影响，必须大力进行废水处理。由于我国经济实力尚弱，更迫切需要学习研究、推广应用高效、节能、低消耗的废水处理新技术。

本书就是为促进科学技术尽快转化为生产力、改变我国废水处理的落后面貌而编写的。参加编写的均为我国从事废水处理科研、设计、教学和运行管理等方面的专家、教授。本书较全面系统地介绍了近年来国内外研究开发的各项城市废水处理新技术，对各种新工艺、新流程的工艺特征、设计运行参数、处理效果和应用范围等作了较详细的介绍，还列举了一些应用实例。书中所列的各项技术，大多已通过生产实践的验证，证实适应于各类规模的城市废水处理。

废水处理是保护环境、增加水源的有效途径，这个问题解决得好否，关系到我国经济建设的发展和人民的身体健康。本书作为汇集近年来国内外废水处理新技术的重要参考文献，必将会帮助从事城市和工业废水处理工作的科学技术人员认识和了解废水处理技术的发展动向，学习和掌握废水处理新流程、新工艺的原

前 言

对防治水污染、保护水环境的强烈的职业责任心,是我们编写《现代废水处理新技术》的主要原动力。我们不忍坐视祖国的大好江河继续受到玷污,也深知只有开发应用适合我国国情的技术,才能解决我国面临的严重问题。本书就是据此原则选题并编写的。虽然书中所涉及的废水处理新技术多以城市废水为对象进行讨论,但对含有机物的工业废水也同样有效。本书介绍了国外及国内的最新研究成就,这些成就已在生产实践中得到了验证。

本书各章的编写人员为:第1、2、8章,钱易(清华大学教授);第3章,邱慎初(中国市政工程华北设计院教授级高级工程师)、郑兴灿(中国市政工程华北设计院工程师);第4、5、6章,常憬(北京市市政设计研究院教授级高级工程师);第7章,林荣忱(天津大学教授);第9章,李献文(北京建筑工程学院教授);第10、16章,张忠祥(北京市环境保护研究所研究员);第11章,赵丽君(天津市纪庄子污水处理厂高级工程师)、钱易;第12章,王占生(清华大学教授);第13、15章,唐鸿德(天津市排水管理处教授级高级工程师);第14章,张恩荣(中国市政工程华北设计院高级工程师)。

限于学术水平和实践经验,本书定有诸多不足不妥之处,敬请读者批评指正。

钱 易 米祥友

1992年10月于北京

目 录

序

前言

第一章 城市废水处理技术的新发展	1
第一节 概述	1
第二节 革新的活性污泥法流程和技术	3
第三节 替代活性污泥法的流程和技术	10
第四节 目标为废水回用的处理流程和技术	16
第五节 有关城市废水处理的方针政策问题	19
第二章 氧化沟活性污泥法	25
第一节 氧化沟技术的发展及特征	25
第二节 氧化沟的构造及主要组成部分	29
第三节 常用的几种氧化沟系统	32
第四节 氧化沟的设计计算	48
第五节 对氧化沟技术的评价	56
第三章 AB法活性污泥系统	62
第一节 概述	62
第二节 AB法的工艺流程及基本原理	64
第三节 AB工艺对氮磷的去除	72
第四节 AB法污水处理厂的分期建设	81
第五节 AB工艺设计要点	90
第六节 AB工艺在我国的应用前景	91
第四章 深井曝气法	93
第一节 概述	93
第二节 深井曝气的机理	93
第三节 深井曝气的工艺及运转	96
第四节 工艺参数	102

第五节	深井的施工技术	105
第六节	深井曝气实例及评价	107
第五章	氧气曝气法	111
第一节	概述	111
第二节	氧气曝气的工作原理及工艺设计	111
第三节	工程实例及参数分析	121
第四节	氧气曝气应用中的有关问题	126
第六章	高效低耗的曝气设备	134
第一节	概述	134
第二节	微孔曝气器的分类及构造	136
第三节	微孔曝气器的使用	141
第四节	工程应用实例	144
第七章	厌氧生物处理新工艺	146
第一节	概述	146
第二节	厌氧接触法	147
第三节	厌氧生物滤池	158
第四节	升流式厌氧污泥床	164
第五节	厌氧膨胀床和流化床	174
第六节	其他厌氧生物处理法	183
第八章	厌氧法在城市废水处理中的应用	195
第一节	城市废水厌氧生物处理的试验成果及应用情况	195
第二节	对城市废水厌氧生物处理可行性的讨论	202
第九章	城市废水稳定塘	211
第一节	稳定塘的发展及应用	211
第二节	稳定塘的设计	212
第三节	稳定塘工艺流程的优化	223
第四节	稳定塘的计算机辅助设计	228
第五节	稳定塘技术的发展趋势	237
第十章	城市废水土地处理系统	241

第一节	概述	241
第二节	废水土地处理系统的基本工艺类型	244
第三节	废水土地处理系统的规划与设计	254
第四节	土地处理前废水预处理	260
第五节	土地处理系统对环境的影响与评价	262
第六节	工业废水土地处理的可行性及实际应用	263
第七节	国内外废水土地处理利用实例	268
第十一章	废水生物脱氮除磷技术	280
第一节	废水生物脱氮技术原理及流程	280
第二节	废水生物脱磷技术原理及流程	294
第三节	生物脱氮除磷工艺流程	299
第四节	生物脱氮除磷技术的设计计算	302
第五节	生物脱氮除磷技术的应用实例	307
第十二章	废水深度处理工艺与技术	311
第一节	概述	311
第二节	废水回用处理的原理	312
第三节	废水深度处理技术	314
第四节	废水深度处理工艺	332
第十三章	污泥的处理处置与利用	335
第一节	国内外城市污泥处理处置与利用的发展动向	335
第二节	厌氧消化	343
第三节	污泥堆肥	355
第四节	沼气发电余热的利用	358
第五节	污泥焚烧及能源回收工程	360
第六节	污泥低温炼油技术	362
第十四章	城市污水处理厂的设计与运行	367
第一节	厂址选择	367
第二节	处理工艺的选定	374
第三节	污水处理厂的设计	391
第四节	污水处理厂的运行	415

第十五章	城市污水处理厂的节能措施	426
第一节	概述	426
第二节	制定污水处理厂系统的合理规划	427
第三节	确定合理的处理工艺	429
第四节	紧凑实用的平面布置	434
第五节	选用节能的设备及装置	435
第六节	逐步实现污水资源化	441
第十六章	城市废水与工业废水的合并处理	453
第一节	概述	453
第二节	工业废水的可生物处理性	454
第三节	城市污水处理厂接纳工业废水的条件	500
第四节	对特殊工业废水进行控制的技术措施	516
第五节	合并处理的规划、设计、运行和管理的若干问题	555
附	编作者简介	571

第一章 城市废水处理技术的新发展

第一节 概述

城市废水系指城市内生活污水与工业废水的混合物，其性质因城市规模、气候条件、排水体制、特别是城市中工业的多少和性质、工业废水预处理程度等因素而各异，但当对工业所排放的特殊污染物，如重金属、酸、碱、有毒物质、油类等有一定的内部治理措施时，一般城市废水的性质是相近的。

城市废水是城市附近水环境的主要污染源。据统计，我国城市废水总排放量约为354亿 m^3 /年，其中工业废水占70%，但直至1991年，我国城市废水处理率仅3.3%，工业废水处理率约32%，其中还有相当一部分处理厂不能正常运行，出水达不到设计要求。大量废水不经处理排入天然水体，造成了城市附近水体的严重污染。目前，全国532条河流已有82%受到不同程度的污染，流经全国42个大城市的44条河流，已有93%受到污染，其中污染较重的占79%。我国城市以湖泊或水库为水源的占25.2%，其大部分也已受到污染。严重的水污染使工农业生产受到损失，人民健康受到威胁。我国北方地区水资源短缺，水污染更加剧了水荒。据估计，我国每年因水污染所造成的经济损失已达400亿元。可见，城市废水处理问题已刻不容缓，急待解决。

城市废水所形成的水污染，以有机污染最为突出严重，表现在水体水的COD、BOD₅超标，还含有不少难为生物所降解的、甚至是有毒有害的有机物。此外，氮、磷物质引起的富营养化污染也值得注意。

为控制水体的有机污染，世界工业发达国家普遍采用二级生

物处理流程，尤以活性污泥法的应用最广。如美国约有废水处理厂18000座，其中84%为二级生物处理厂；英国共有处理厂约3000座，几乎全部是二级生物处理厂；日本有城市废水处理厂630座，村镇废水处理厂2000座，其中二级处理厂和高级处理厂占98%左右；瑞典人口很少，但却有1540座城市废水处理厂，其中91%为二级生物处理厂。这些国家的经验表明，大力兴建二级生物处理厂对改善水体卫生情况起了很大的作用。如美国上千条河流的水质有了明显的改善，日本不符合环境标准的水域已下降至不足0.1%，欧洲莱茵河的有机污染也基本得到控制，部份河段水质明显改善，鱼类复生，英国泰晤士河绝迹了100多年的鱼群又重新出现，目前鱼种已达119种之多。

但是必须看到，二级生物处理、特别是传统的活性污泥法流程复杂，基建费高，运行中消耗大量能源，运行费也很可观。我国经济实力薄弱，不可能也不应该抄袭工业发达国家的经验和技術来解决自己的城市废水处理问题。即使是美国等发达国家也有不少人废水处理的高能耗提出非议。因此，研究高效、节能的城市废水处理新技术、新流程，已成为当今世界上废水处理技术研究的新方向，更是我国科技工作者所面临的迫切任务。

国内外的有关研究工作已取得了一定成就，为我们展示了继续努力的方向。纵观目前已取得的成果及正在进行的工作，可以看出以下三个受到重视和行之有效的研究方向：

- 1.对传统的活性污泥法流程和技术进行革新，使之更为经济合理；
- 2.研究开发可以替代活性污泥法的处理流程和技术；
- 3.研究开发目标为城市废水回用的处理流程和技术。

本章拟对上述三方面的研究动向作一综述，并对有关城市废水处理的方针政策性问题进行一些讨论，目的在于推动我国城市废水处理事业的发展 and 进步。

第二节 革新的活性污泥法流程和技术

活性污泥法是当前世界各国应用最广的一种二级生物处理流程，具有处理能力高，出水水质好等优点，但基建费、运行费高，能耗大，管理也较复杂，易出现污泥膨胀、污泥上浮等问题，且不能去除氮、磷等无机营养物质。

国内外科学技术界展开了大量研究，旨在改革传统的活性污泥法，进行改革的方向可归纳为：

1. 简化流程，压缩基建费；
2. 节约能耗，降低运行费；
3. 增强功能，改善出水水质（在去除 BOD_5 、SS的同时去除氮、磷等营养物质）；
4. 简化管理，保证稳定运行；
5. 减少污泥产量，简化污泥的后处理。

至今，已出现了一批较成功的革新的活性污泥法流程或技术，或能满足上述1~2项要求，或能满足2~4项要求，其推广应用必将使城市废水处理出现新面貌。

一、氧化沟

氧化沟（Oxidation Ditch）是本世纪30年代由荷兰工程师发明的一种新型活性污泥法，其曝气池呈封闭的沟渠形，废水和活性污泥的混合液在其中不断循环流动，因此被称为“氧化沟”，又称“循环曝气池”。

自1954年荷兰建成第一座间歇运行的氧化沟以来，氧化沟在欧洲、北美、南非及澳大利亚得到了迅速的推广应用。至1985年，美国已建有553座氧化沟污水处理厂，荷兰216座，西德226座，丹麦300座。其工艺和构造也有了很大的发展和进步，处理能力不断提高，至今已有规模达 $65\text{万m}^3/\text{d}$ 的大型氧化沟处理厂；处理范围不断扩大，不仅能处理生活污水，也能处理工业废

水、城市废水，而且在脱氮除磷方面表现了极好的性能。

我国近10年来在氧化沟技术的研究及推广应用方面有了很迅速的发展。据不完全统计，目前已有10余座氧化沟污水厂在运行中，其中邯郸市东污水厂处理能力为 $66000\text{m}^3/\text{d}$ ，昆明市污水处理厂处理能力为 $55000\text{m}^3/\text{d}$ ，另有一些小型氧化沟，处理能力自 $200\sim 1000\text{m}^3/\text{d}$ 不等，主要用于小区及工业废水的处理。

氧化沟根据其构造和运行特征，可分为：

1. Carrousel型

荷兰发明，应用垂直轴的表面曝气器供氧并推动水流前进，在欧、美应用广泛，处理厂规模可以很大。

2. 交替工作型

即有二沟或三沟交替地在缺氧、好氧和沉淀的状态下工作，以免除分离式的二次沉淀池，并可完成硝化与反硝化。是丹麦开发的新流程。

3. Orbal型

由多个同心的沟渠组成，废水从外沟依次流入内沟，各沟内有机物浓度和溶解氧浓度均不相同，因此可实现脱氮脱磷的目的。曝气设备采用曝气转盘。这种类型的氧化沟在美国应用较多。

4. 一体化氧化沟

即氧化沟和二沉池合为一体的氧化沟，可以节省污泥回流系统，基建投资较省。

生产实践和试验研究表明，氧化沟污水处理技术的主要优点是：

1. 处理流程简单，构筑物少，一般情况下可不建初沉池和污泥消化池，某些条件下还可不建二次沉淀池和污泥回流系统，因此基建费用较省；

2. 处理效果好且稳定可靠，不仅可满足 BOD_5 和SS的排放标准，且可实现脱氮、除磷等深度处理的要求；

3. 采用的机械设备少，运行管理十分简便，不要求具有高度

技术的管理人员；

4.对高浓度工业废水有很大的稀释能力，能承受水量、水质的冲击负荷，对不易降解的有机物也有较好的处理效果；

5.污泥生成量少，且已在氧化沟中得到好氧稳定，不需设污泥消化池；

6.当需要进行脱氮除磷处理时，氧化沟的能耗和运行费用较传统的处理流程低。

二、二段曝气法（AB法）

AB法是在传统的二段曝气法基础上发展起来的，但有了较大的突破。此工艺由原联邦德国在70年代中期发明，于80年代始用于生产实践。

AB法即吸附絮凝—生物氧化法，由A—吸附絮凝段和B—生物氧化段两个曝气池串联而成。A段停留时间很短，有机负荷很高，通过吸附絮凝作用可去除约40~70% BOD_5 。B段有机负荷与传统活性污泥法相近，负责去除剩余的有机物，使系统的出水水质达到要求。系统的有机负荷要比传统活性污泥法高很多。

AB法一般不设初步沉淀池，其目的在于将排水管道中存在的大量微生物直接引入A段曝气池，能增加其中微生物的数量和活力，提高其处理能力及运行稳定性。

AB两段虽然串联运行，但其中的污泥是自成系统的，即两段有其各自的沉淀池及回流污泥系统，保持两段有其各自的不同的微生物群落。A段的微生物群落以细菌占优势，并处于对数生长期，泥龄短，增殖快；B段的微生物以原生动物占优势，也有少量菌胶团，泥龄较长，增殖较慢。研究表明，传统活性污泥法的微生物群落包含了细菌和原生动物，对水质变化的冲击负荷承受能力较弱，易发生污泥膨胀。AB法的两种污泥均具有较好的沉淀性能。

由于A段曝气池溶解氧浓度较低，AB法表现出较强的脱

磷能力，在不投加化学药品的情况下，除磷效率可达70%左右。由于B段有机物负荷低，在其中会有相当的硝化作用进行，因此AB法的氨氮去除率也比传统的活性污泥法高。

综上所述，AB法的主要优点在于：

1.提高了系统的负荷，缩小了曝气池的体积，可使基建费用相应降低；

2.对进水负荷的变化适应性强，运行较稳定，污泥不易膨胀；

3.能达到一定的脱氮、除磷要求，出水水质较好；

4.作小量修改即可改为A-O系统或A-A-O系统，以达到脱氮、除磷的要求。

AB法的主要弱点是：需要设两个二次沉淀池，两套污泥回流系统，构筑物较多；A段污泥产量较高，增加了污泥处理及处置工作。

80年代以来，AB法在欧洲得到了一定的推广应用，一些老厂为解决超负荷问题而改造成AB法，一些新厂也在陆续兴建和投产。目前约有30余座AB法污水厂还在运行。处理能力自2万m³/d至24万m³/d不等。

我国也正在大力研究并力争AB法在城市废水处理生产实践中得到应用。

三、A-O流程及A-A-O流程

通常被称为A-O流程的实际上可分为两类，一类是厌氧段（A₁）与好氧段（O）串联的流程，另一类是缺氧段（A₂）与好氧段（O）串联的流程。

厌氧状态与缺氧状态的根本差别在于：在厌氧状态下既无分子态氧，也没有化合态的氧，而在缺氧状态下则存在微量的分子态氧（溶解氧浓度0.5mg/l以下），同时还存在化合态氧，如硝酸盐。

在讨论A-O流程时，有必要区别这两种不同的流程，建议

以 A_1 和 A_2 分别代表厌氧和好氧，因为这两种不同流程的功能是完全不同的。

1. A_1 -O流程

A_1 -O流程（厌氧-好氧流程）的作用在于在去除有机物的同时去除废水中的磷。整个流程由初沉池、厌氧池、好氧池、二沉池组成。二沉池排出的污泥部分流至厌氧池，其余则作为剩余污泥排放。活性污泥中不少细菌具有在好氧条件下过量吸收废水中的磷，而在厌氧条件下将其释放出来的特点。通过剩余污泥的排放，可将磷排除出系统。

在一般城市废水的水质条件下，厌氧池与好氧池的容积比约为1:3至2:3。处理后出水的 BOD_5 和SS与传统的活性污泥法相当，同时还可使废水中的总磷从5mg/l降至1mg/l以下。

可见，与传统的活性污泥法相比较， A_1 -O流程可取得更好的出水水质，由于厌氧段本身也具有去除有机物的功效，其能耗要比较小，此外，还具有改善污泥沉降性能、克服活性污泥膨胀的优点。

与传统的活性污泥法加上化学沉淀法脱磷的流程相比， A_1 -O流程更显示出了节约能耗、节约药剂消耗和减少污泥排放量的优点，因此基建费和运行费均可大大减少。

2. A_2 -O流程

由缺氧池和好氧池串联而成的 A_2 -O流程，主要功能是去除废水中的氮。生物脱氮过程可分为两步，第一步是由硝化细菌（含亚硝化细菌）将氨氮氧化为硝酸盐，由于硝化细菌是自养型好氧菌，硝化反应只能在好氧环境下进行。第二步是由反硝化细菌将硝酸盐还原为氮气从水中逸出，反硝化细菌为异养型兼性菌，利用有机物为碳源，利用硝酸盐中的化合态氧作电子受体，因此反硝化反应应在没有分子态氧的环境下进行。

A_2 -O流程又称前置反硝化流程，废水先引入缺氧池，在其中进行有机物的初步降解和硝酸盐的反硝化，然后进入好氧池，在其中进行有机物的进一步降解和氨氮的硝化。 A_2 段与O段间不