

污水生物处理技术

上海市环境保护局编

上海科学技术出版社

553

环境保护丛书



内 容 提 要

本书内容包括国内外污水生物处理的技术进展情况,微生物学研究概况,低压曝气法,生物接触氧化法,射流曝气生化法,活性炭-生物膜法和气浮法等。

本书可供从事污水处理的设计和管理人员、环境保护工作人员和大专院校有关专业师生参考。

《环境保护丛书》

污 水 生 物 处 理 技 术

上海市环境保护局编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3.25 字数 73,000

1981 年 2 月第 1 版 1981 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—8,000

书号: 15119·2008 定价: (科三) 0.29 元

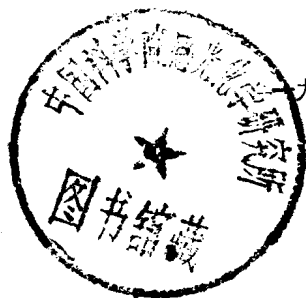
50.9
3

前 言

随着工业的不断发展,生产中排放的污水量逐渐增加,水质也越来越复杂,对人体健康带来严重的影响。因此加强环境保护,搞好污水处理工作是一项紧迫的任务,也是为子孙后代造福的大事。几年来,有关单位和工厂开展了污水处理的工作,已取得了不少成果。

为了促进环境保护工作,及时交流和推广生化处理的科研成果,我们以1978年上海环境保护局和上海市科协举办的第二次《废水生化处理讲座》的讲稿为基础,编写了这本书。它主要是介绍最近几年发展的污水生物处理新方法,其中有的已在生产上应用,有的虽然尚处于研究试验阶段,但有使用和推广的价值。

由于水平有限,可能会存在不少错误和缺点,望大家批评指正。



一九七九年十二月

目 录

第一章	污水生物处理的技术进展	1
第二章	污水生物处理中的微生物学研究	20
第三章	低压曝气法	31
第四章	生物接触氧化法	51
第五章	射流曝气生化法	63
第六章	活性炭-生物膜法	76
第七章	气浮法在生物处理中的应用	89

第一章 污水生物处理的技术进展

一、概 述

现代城市污水处理技术,是在二十世纪出现的,是在人类防治环境污染的斗争中逐步成长起来的。

国外有人把城市污水的污染过程概括为三个时期:

(1) 病原污染期 此时城市污水主要是生活污水,水质较单纯,由于污水中病原菌的传播,各国历史上都曾爆发过流行性传染病,现在世界上许多发展中国家和地区正处于这一阶段。

(2) 总体污染期 随着工业生产的迅速发展和人口的集中,城市污水中工业废水所占比重不断增加,造成水体中悬浮物和生化需氧量越来越高,最后使溶解氧耗尽,生物灭绝,达到总体污染的程度,在资本主义国家的发展过程中,这是常见的现象。

(3) 新污染期 工业生产的进一步发展,特别是石油化工等新型工业的出现,生产中排出的污染质和毒物种类不断增多,水质更趋复杂,可能正在形成一个隐患,这是人们还不甚了解的时期。

我国是一个发展中国家,正为本世纪内全面实现四个现代化而努力奋斗,因此在发展工农业生产过程中还要注意这三个污染期可能在我国同时发生,应及早采取对策。

国外在开始着手解决城市污水的污染时,曾试图单纯利用河湖的稀释能力,以回避对污水进行直接处理。如美国芝加

哥市,花了33年时间,修了113公里渠道,引取了283米³/秒流量的密执安湖水来进行稀释,结果造成污染搬家;又如柏林、巴黎也都曾将污水不经处理直接灌溉农田而产生一系列问题(如土壤盐碱化、重金属积累、肠道病流行、作物品质下降等等)。这些都是应该引以为戒的教训。

一个国家的城市污水处理普及程度,大致可从污水处理厂座数来反映,表1-1为世界一些国家的城市污水处理厂座数。

表 1-1 世界一些国家的城市污水处理厂座数

国 名	人 口 (亿)	城市下水道 服务人口 百分率(%)	城 市 污 水 处理厂座数	二 级 处 理 所占 %	一 级 处 理 所占 %
美	2.1	73	22600	51	20
英	0.55	93	5000	80	9
西 德	0.61	81	6048	42	19
法	0.52	68	6000	64	
瑞 典	0.08	83	1540	78	5
卢森堡	0.004			70	21
日 本	1.1		318		
中 国	9.0		34	(未包括台湾省)	

美、西德、法、英等四国发展较早,大致平均每万人有一座处理厂。

瑞典大力发展城市污水处理,从五十年代中期才开始的,平均每五千人有一座处理厂,可能因湖泊纵横、流域分散,处理厂大多数规模较小,日处理量在万吨以上的仅58座,而处理能力却占一半以上。

日本发展得更晚,开始于六十年代,1960年前仅有34座,在不到20年的时间,增建到318座,日处理量在万吨以上

的大中型厂有 179 座, 占 56%。

我国城市污水处理发展不快, 现有 34 座处理厂总处理能力为 72.7 万米³/日, 仅占现有管道能力的 2.1%。

当前国外城市污水处理的趋向如下:

(1) 普及生物处理 美国在 1972 年颁布了防止水污染法, 它要求 1977 年普及二级处理, 1983 年达到所有水体适于文化娱乐之用, 1985 年达到“零排放”。

(2) 处理厂的大型化 根据国外实践, 规模分别为 378500 米³/日和 3785 米³/日的二座生物处理厂, 污水每米³/日基建费之比为 1:2.63, 其运行费之比为 1:5.4。日本近年来结合水体流域, 把分散的污水系统集中起来, 处理厂规模趋于加大。美、苏、法、日等国已建有不少规模在 50 万米³/日以上的大型处理厂(据不完全统计在四十座以上), 其中最大的如美国芝加哥的西-西南区处理厂, 规模达 380 万米³/日。

(3) 合并处理即生活污水与生产废水合并处理 根据实践, 大多数生产废水是可以生物降解的。一般做法, 生产废水首先由工矿企业综合利用和预处理, 达到进入城市管道的指标后再合并处理。

二、污水生物处理的技术进展

生物处理分为好气处理法和厌氧处理法两大类。好气处理法, 是目前世界各国城市污水处理的主要工艺和发展方向。其中有活性污泥法、生物过滤法、氧化塘法等, 现分别叙述于下:

1. 活性污泥法

在 1913 年英国曼彻斯特市最初建成活性污泥法的试验厂后, 经六十多年的发展, 根据技术经济、水质的适应、微生物

活动、处理程度以及管理方法等不同要求，已形成多种类型，使活性污泥法成为最主要的生物处理法。

据分析，活性污泥法主要应用于大型处理厂，如美国芝加哥的西-西南区处理厂(380 万米³/日)，华盛顿的兰原处理厂(190 万米³/日)，法国巴黎的阿歇尔处理厂(目前为 150 万米³/日，计划为 300 万米³/日)，日本东京的森崎处理厂(88 万米³/日)等均采用活性污泥法。

按处理污水的流型和微生物活动的特点，活性污泥法大体上可分为推流式和完全混合式两大类。

长期以来，多采用推流式，其主要特点是微生物(活性污泥)的增长和有机质的降低沿池长而变化。现已演变有普通曝气法、生物吸附法(又称接触稳定法)、阶段曝气法等。普通曝气法是最基本的型式，曝气时间一般为 6~8 小时，BOD₅*去除率达 95% 以上，其处理程度非其他生物法所能及。目前最常用的是阶段曝气法、生物吸附法等，其中生物吸附法的开发，是由于四十年代发现了活性污泥能在短时间内吸附污水中溶解的和胶态的有机物，利用这一特点分为吸附及氧化(接触和稳定)两个阶段，其处理程度稍有降低，但基建费用可有较大节约。我国在 1958 年曾将上海的普通曝气法改为生物吸附法，处理效率虽略有降低，BOD₅ 去除率在 90% 左右，但较大幅度地提高了处理能力，解决了处理厂超负荷运转的现象。

约在二十年代初，开始出现了完全混合式，但那时其特点尚未被人们充分认识，直到五十年代初，人们才发现和重视完全混合式的特点，并应用于各种污水处理中，至今得到很大的发展。其主要特点是在曝气区内微生物生长是均匀的，耗氧

* BOD₅——五天生化需氧量

速率是均匀的(即 BOD_5 负荷是均匀的)。由此可控制完全混合系统的工作点在微生物生长曲线的某一特定点上,以满足处理的要求。另外,混合液在区内不停地循环流动,入流污水迅速与混合液混合稀释而具较大的耐冲击力以及新老微生物处于同一环境,衰老的微生物由于自身氧化放出营养物可供新生的微生物所利用。因而随着曝气-沉淀池合建和表面曝气器的出现,一度人们认为完全混合式远比推流式优越,但经过近年来实践证明,二者各有所长。目前国外在大型处理厂使用推流式仍较多,在中等规模、水质不太稳定时,多采用完全混合式。

据了解,美国新泽西州威柏纳纸板厂所采用的完全混合式曝气沉淀合建池为最大,直径达 60 米,深为 10 米,用钢板制成,处理能力为 $28,400 \text{ 米}^3/\text{日}$,采用四个鼓风-机械扩散曝气器供氧。

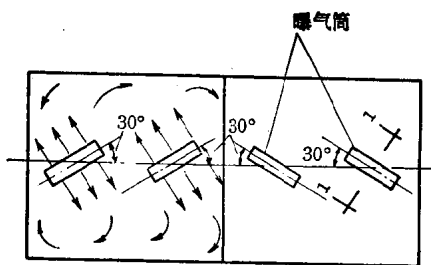
我国于六十年代初,开始试验研究完全混合式。第一座圆形合建池于 1966 年在四平投产。据不完全统计,国内已有 50 多个单位用这种池子处理各种污水,上百座池子已投入运转。

在曝气装置方面,表面曝气器由于电耗较省,不用空气管线,在国外已经商品化,所以在中小规模的完全混合式池中应用较多。在推流式中多数用鼓风机,由于我国目前存在鼓风机成品规格少等原因,因而在很多场合都使用表面曝气器。鼓风曝气的扩散装置有大小气泡等不同型式,我国在这方面研究不多,大多采用大气泡装置。最近出现了固定螺旋曝气器,我国北京正开展大量研究。

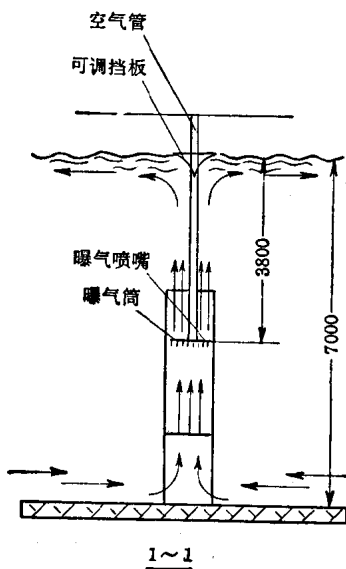
为了进一步提高活性污泥法,近年来各国都致力于改善运行条件、缩小构筑物体积、减少占地、降低动力消耗,积极地进行了一些新系统的研究。如:

(1) 低压曝气^[1]——国外又称茵卡曝气。它是根据气泡在刚形成的瞬间，污水中吸氧率最高的原理，把一般设在池底的曝气装置提高到离水面某一深度(一般在水面下0.8米处)，以充分发挥曝气装置的效能。

低压曝气在我国过去用得不多，北京焦化厂在1967年建



池试验，1975年上海禽蛋五厂建成了一座处理能力为1000米³/日的低压曝气生物处理站，目前使用单位正在增加，这种方法将在第三章中详细叙述。



(2) 深层曝气——又称深水曝气。曝气池一般深度不超过5米，为了解决用地问题，力求加大池内水深。最早研究深水曝气的是美国纽约北江污水厂，其水深达8.5米，由于水深加大，氧利用率提高到9.5%，但因风压加大，动力消耗与普通曝气池相比，相差无几。为了利用现有风机的能力，发展了一种深水中层曝

图1-1 矩形深层曝气池示意

气，即水深约为10米，曝气装置仍设在5米左右，如日本的森

崎处理厂，新河岸处理厂以及美国底特律市的坦特劳脱处理厂(水深9.15米，扩散器设置深度为3.56米)均有采用。我国上海闵行城市污水处理厂也采用了这种方式(图1-1)。

水深继而加深至10~30米者，又称塔式曝气，我国上海第九印染厂(试验性曝气装置直径为0.75米，高为17米左右)和北京高碑店污水厂(试验性曝气装置直径为0.2米，高为20米)先后进行了试验研究。

由于钻井技术的发展，国外有采用深井封底，并将深井垂直分隔为降流区和升流区两大部分，运转时在升流区鼓入空气，使降流区和升流区中液体产生密度差，形成水流循环，混合液的循环速度控制在1~2米/秒(大于气泡上升速度)，而后用普通空压机在降流区的适当深度注入空气，即成为水深可达50~150米的曝气井。井的直径可做成0.5~10米。由于气泡在井内接触时间长(约3~5分钟)，所以是一种高效的氧转移装置，氧利用率可达

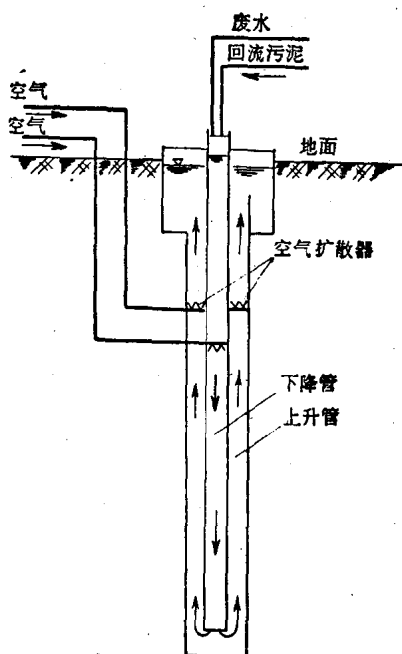


图1-2 深井曝气池示意

60~90%，而且具有污泥量少、电耗省、占地小等优点，是一种有发展前途的技术。深井曝气池如图1-2所示。

第一批深井曝气处理厂已在英、西德、加拿大和美国投入运行,日本、加拿大和欧洲又在设计和兴建一批。在1975年西德建成的第一座工业(土豆淀粉)废水深井曝气处理厂(人口当量为4万人),包括二次沉淀池占地仅144米²,每度电可充氧6公斤。

(3) 氧气曝气^[2]——早在1940年美国就有人设想用富氧来代替空气,以提高生物处理的效率。1968年在美国纽约州巴塔维亚建成了第一座氧气曝气处理厂(有盖多段式,深冷分离法制氧)。近十年来又有了相当的进展,美国环保局曾根据1976年6月以前各国资料加以汇总,说明氧气曝气的使用情况。世界已投产的氧气曝气处理厂有五十座,其中城市污水方面占26座,工业废水方面占24座;总处理能力达280万米³/日左右,其中城市污水方面占230万米³/日。施工中的有66座,城市占49座,工业占17座;处理能力为950万米³/日,城市占870万米³/日。设计中的有41座,全部为城市污水,处理能力为1000万米³/日。其中大部分使用于美国,在已投产中占35座,处理能力达260万米³/日。施工中占57座,处理能力达870万米³/日。已投产的最大一座处理厂在密执安州底特律市,处理能力达110万米³/日。有人估计,至1980年,世界氧气曝气处理能力可达2000万米³/日以上。日本从1972年起开始应用,已建成十座规模较小的处理厂。我国北京高碑店处理厂也正进行试验研究。世界氧气曝气处理厂简况见表1-2。

采用氧气曝气时,供氧的可能性和经济性是个前提。当前世界上大规模工业化制氧方法有深冷分离法和分子筛法。对氧气曝气设备的供氧,除了就地设置上述两种方法的制氧站外,还可采用管道输送和车运液氧等方式。目前供氧方式

表 1-2 世界氧气曝气处理厂简况(括弧内为美国)

项 目		已 投 产	施 工 中	设计中	共 计
污水厂数 (座)	城市污水	26 (21)	49 (46)	41(41)	116 (108)
	工业废水	24 (14)	17 (11)		41 (25)
	合 计	50 (35)	66 (57)	41	157 (133)
水 量 (米 ³ /秒)	城市污水	25.9(25.1)	100.6(95.7)	116	242.5(236.8)
	工业废水	6.0 (4.2)	9.3(7.4)		15.3(11.6)
	合 计	31.9(29.3)	109.9(103.1)	116	257.8(248.4)
供 氧 (吨/日)	城市污水	434 (424)	2840(2670)	3440	6714(6534)
	工业废水	353 (343)	420(348)		773(701)
	合 计	787 (767)	3260(3018)	3440	7487(7235)

仍旧以分子筛制氧较多,但此法供氧能力较小。据美国碳联公司计算,经济核算界限在供氧能力为18~23吨/日左右,超过此能力者宜用深冷法。采用液氧最不经济,一般限于供氧4.5吨/日以下。

氧气曝气主要分为有盖式和无盖式两种,原先多用有盖式。最近美国和日本发展了一种新的超微气泡扩散器,发生的气泡直径在0.2毫米以下,有的甚至达50微米,其接触面积比一般小气泡大60倍,可获90%的氧转移率,从而可取消池盖,无盖式日渐见多。超微气泡扩散器有旋转式和固定式两种。图1-3为有盖多段式氧气曝气池,图1-4为无盖多段式氧气曝气池,图1-5为圆顶盖式氧气曝气池。

氧气曝气主要优点是氧利用率高达90~95%(空气法为4~10%),曝气时间短(处理城市污水需1~2小时),处理效率高,剩余污泥少;但由于它必须有制氧设备,大量仪表控制装置及防腐安全措施,影响了它的应用。近年来在制氧方法上出现了合成沸石分子筛的常温吸附分离法,制氧设备比深冷

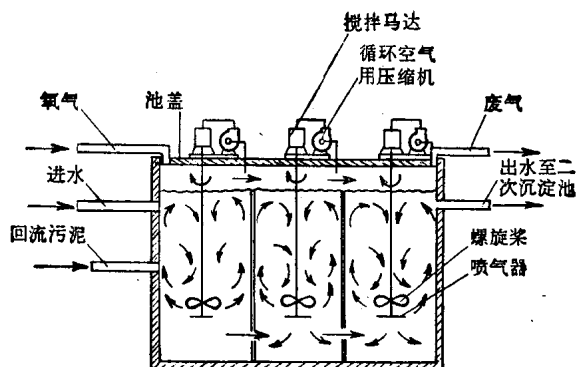


图 1-3 有盖多段式氧气曝气池

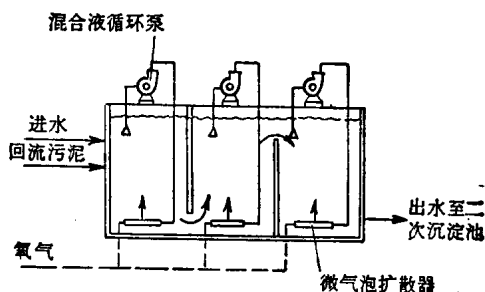


图 1-4 无盖多段式氧气曝气池

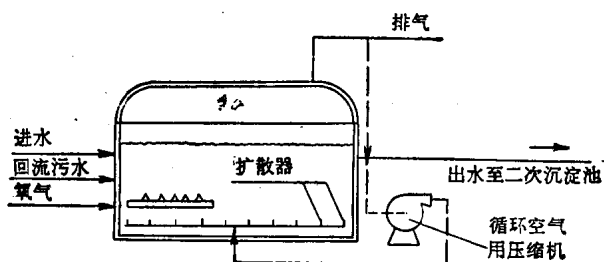


图 1-5 圆顶盖式氧气曝气池

分离法大为简化，为氧气曝气应用于中小型处理厂创造了良好条件。

(4) 投料活性污泥法^[3]——这是一种在活性污泥法系统中直接投加助剂，以提高原有设备处理能力的经济、简单而有效的方法。近四十年来，曾使用过金属盐类或聚合物等化学品和活性炭作为助剂。通常这些助剂可在初次沉淀池、曝气池或二次沉淀池中加入，以改善污泥的密实性和过滤性。直到六十年代末，美国杜邦公司发明了粉末活性炭处理法，在不增加设备费用的前提下，直接在曝气池中投加炭粉，得到了符合三级处理要求的水质。从此投料法引起了人们的重视，自1971年秋后，在美国的帝国化学公司超越了杜邦公司实验室研究范围，对各种污水进行了全规模试验，证明了在初次沉淀池出水中投加炭粉， BOD_5 和 COD 去除率可提高 20~30%，降低出水固体含量 40%，并可改善污泥沉降性能，可除色，消泡以及在较宽的 $\frac{F}{M}$ （食料与微生物重量比）范围内防止污泥膨胀，尤其当负荷变化较大时，运行与出流水质很稳定。

当前，此法在我国影响使用的唯一原因是粉末活性炭的产量和价格。

2. 生物过滤法

生物过滤法也是一种常用的生物处理，净化污水的主要机理是靠附着在滤料表面的生物膜对污水中有机物的吸附氧化作用。1893 年，英国首先采用了滴滤式生物滤池，发展至今已有不少改进方法，包括供氧方式、池型结构以及负荷的不同。美国现有 22600 座处理厂中，有 3500 座采用生物滤池，处理能力为 2800 万人口当量；日本现有 318 座中有 40 座采用生物滤池；我国在解放后建造了一座规模为 5700 米³/日的

生物滤池,是固定喷嘴式普通滤池。

(1) 生物滤池 按负荷可分为普通滤池和高负荷滤池二类,普通滤池处理程度高,出水较清沏,悬浮物少,运行费用低,管理简单,过去曾被广泛采用。但由于卫生条件差、占地面积大等弊病,渐为高负荷滤池替代。日本在1964年,18座采用生物过滤法的处理厂中,只有一座为普通滤池,而到1974年40座生物滤池处理厂全部采用高负荷滤池了。

与普通滤池相比,高负荷滤池的负荷大致为普通滤池的5~15倍,但处理效果略差,为提高出水水质,有采用滤后水回流、增加滤层深度或多级串联等不同变化方法。塑料工业的发展,提供了轻质高强的滤料,大幅度地加深了滤层,塔式滤池就是在此基础上产生的。东德首先将化工上的洗涤塔成功地改造为塔滤后,很快在东欧及苏联得到进一步研究和推广。其滤层高度可达8~24米,水力负荷可比高负荷滤池提高2~10倍,有机负荷提高2~3倍。我国自七十年代起,各地相继进行试验研究,已有一些应用于生产废水的处理。对城市污水处理,仅陕西汉中建有一座高为8米,处理能力为100米³/日的塔式滤池。塔式滤池虽具有负荷大、占地小、滤料不易堵等优点,但运转费比普通滤池大、滤料材质要求高,根据我国情况,推广使用还有一定困难。

(2) 生物转盘 根据与生物滤池基本相同的机理,发展了生物转盘。世界上第一座半生产性生物转盘装置是1954年在西德海尔布隆城建成的。六十年代以来,应用逐渐增多。我国自七十年代起,不少单位陆续开展了试验研究,取得初步成果。目前国内最大生物转盘盘径达3.6米。生物转盘法设备简单,易于管理,动力消耗省,耐冲击负荷以及生成污泥少且易脱水,但处理水量不大,据日本分析,最大处理量不应超

过 10000 米³/日。为提高处理能力,近年来一方面着手加大盘径,增大盘片表面积,其形状由平板型向立体型发展的趋势,目前国外采用的立体盘型多用平板与波纹板组合的形式,组装的蜂窝状盘型亦有报导,我国北京已有用波纹组合转盘。另一方面设法添加其他措施,如通入纯氧、培养藻类或与厌气处理等相结合以提高处理水平。目前我国大多在生产废水方面探索应用,由于盘材没有得到很好解决,故未见重大发展。

(3) 活性生物滤池法 国外称 ABF 法 (Activated Bio-Filter process), 其工艺流程如图 1-6 所示。

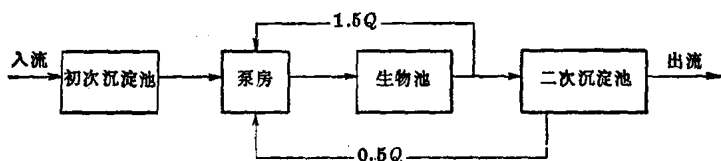


图 1-6 活性生物滤池法工艺流程

活性生物滤池的主要处理构筑物是生物池,其如塔式滤池,但其滤料采用水平板条。

该法兼有生物滤池和活性污泥法的特点,即进入生物池有:初次沉淀池出水、生物池出水和二次沉淀池的回流污泥所组成的混合液,在生物池内除了生物膜外,又有活性污泥。当出水要求较高时,在生物池和二次沉淀池之间可加设辅助曝气池,即成为二阶段处理系统。现将该法的几个数据列入表 1-3。

据资料介绍,生物池滤层高为 2.43~4.26 米,研究证明层高超过 4.26 米, BOD₅ 去除率增加极微。生物池的进水量必须恒定,可由生物池出水的回流量来调整进水和回流污泥量的变化,以确保充分曝气和配水均匀,并简化泵房设计。