

## 城市污水处理工艺的主要类型

郑兴灿 张悦

### 污水处理厂的工艺组成与处理等级

#### 城市污水处理工艺流程

典型的城市污水处理工艺流程主要包括机械处理、生化处理（水线）、污泥处理等工段。由机械处理以及生化处理构成的系统属于二级处理系统，其BOD5和SS去除率可达到90%~98%。处理效果介于一级和二级处理之间的一般称为强化一级处理、一级半处理或不完全二级处理，主要有高负荷生物处理法和化学法两大类，BOD5去除率45%~75%。具有生物除磷脱氮功能的二级处理系统通常称为深度二级处理。为了去除特定的物质，在二级处理之后设置的处理系统属三级处理，例如化学除磷，絮凝过滤，活性炭吸附等。

#### 机械处理工段

机械（一级）处理工段包括格栅、沉砂池、初沉池等构筑物，以去除粗大颗粒和悬浮物为目的，处理的原理在于通过物理法实现固液分离，将污染物从污水中分离，这是普遍采用的污水处理方式。机械（一级）处理是所有污水处理工艺流程必备工程（尽管有时有些工艺流程省去初沉池），城市污水一级处理BOD5和SS的典型去除率分别为25%和50%。在生物除磷脱氮型污水处理厂，一般不推荐曝气沉砂池，以避免快速降解有机物的去除；在原污水水质特性不利于除磷脱氮的情况下，初沉的设置与否以及设置方式需要根据水质特注的后续工艺加以仔细分析和考虑，以保证和改善除磷脱氮等后续工艺的进水水质。

#### 污水生化处理

污水生化处理属于二级处理，以去除不可沉悬浮物和溶解性可生物降解有机物为主要目的，其工艺构成多种多样，可分成活性污泥法、生物膜法、生物稳定塘法和土地处理法等四大类。日前大多数城市污水处理厂都采用活性污泥法。生物处理的原理是通过生物作用，尤其是微生物的作用，完成有机物的分解和生物体的合成，将有机污染物转变成无害的气体产物（CO<sub>2</sub>）、液体产物（水）以及富含有机物的固体产物（微生物群体或称生物污泥）；多余的生物污泥在沉淀池中经沉淀池固液分离，从净化后的污水中除去。

由此可见，污水处理工艺的作用仅仅是通过生物降解转化作用和固液分离，在使污水得到净化的同时将污染物富集到污泥中，包括一级处理工段产生的初沉污泥、二级处理工段产生的剩余活性污泥以及三级处理产生的化学污泥。由于这些污泥含有大量的有机物和病原体，而且极易腐败发臭，很容易造成二次污染，消除污染的任务尚未完成。污泥必须经过一定的减容、减量和稳定化无害化处理并妥善处置。污泥处理处置的成功与否对污水厂有重要的影响，必须重视。如果污泥不进行处理，污泥将不得不随处理后的出水排放，污水厂的净化效果也就会被抵消掉。

各种机械处理、生物处理和污泥处理技置技术设备的选择与不同组合，以及构筑物的设计构成了各种各样的污水处理厂工艺和工程方案。设计人员的职责在于根据具体条件和处理水质目标把各种可能性灵活地结合起来，以便形成在经济上合算又具有实用价值的总体处理工艺流程，避免在几种局部性的定型处理法中简单比选。有关城市污水处理厂的主要工艺类型及工程方案的选择在后续部分将作进一步的讨论。

### 活性污泥法污水处理工艺的组成

活性污泥法的工艺及其实施方式的组成包括4个要素，即：

- 处理系统的泥龄（或污泥负荷）
- 电子受体供给方式（即厌氧、缺氧和好氧状态）及其分布
- 整个反应池内的流态组成及分布
- 各种设备和构筑物，尤其是曝气设备。

泥龄和电子受体的供给方式是活性污泥法污水处理工艺的核心，直接关系到出水水质、反应池容积和



污泥产生量。反应池内的流态对处理系统的运行特性和性能具有相当大的影响。各种设备和构筑物是实现工艺思想和设定目标的具体手段。不同泥龄、不同流态和不同曝气设备的组合构成了各种各样的活性污泥法变型工艺。

根据泥龄(污泥负荷)的不同,活性污泥法可分成3类,高负荷系统(泥龄0.5~2d),以去除BOD<sub>5</sub>和SS为目标,BOD<sub>5</sub>去除率在40%~75%之间;中负荷常规活性污泥系统(泥龄3~7d),常规系统以去除BOD<sub>5</sub>和SS为目标,加厌氧区可以高效除磷;中低负荷活性污泥硝化系统(泥龄7~15d)和低负荷系统(泥龄15d以上),以BOD<sub>5</sub>、SS和氮磷为去除目标。一般来说,泥龄越长,污泥的稳定化程度越高,延时曝气系统污泥负荷很低(泥龄25d以上),污泥可基本上得到稳定。

值得特别注意的是,泥龄和污泥负荷虽然有关,却有本质的差别。对应特定的处理目标和水质要求,往往需要相同的泥龄。在不同的水质条件环境下或不同的工艺方案中,由于生物反应池进水组成特性的不同,相同泥龄所产生的污泥量和污泥组成差别很大,对应的污泥负荷也就存在明显差别,以MLSS作为污泥量计量基础时尤为明显。这就意味着在生物除磷脱氮系统或泥龄较长的系统中,采用污泥负荷概念进行工艺设计往往缺乏合理性,更不用说工艺的优化。在本章的后续部分将对这个问题作进一步的讨论。

曝气池的流态可分为3种基本类型,推流式、完全混合式和循环流,循环流实际上是推流和完全混合的特混合方式。流态的分布与所选择的曝气混合设备类型和布置方式密切相关。曝气混合设备起供氧及混合作用,以满足活性污泥代谢作用和耗氧需求并保持活性污泥处于悬浮状态。曝气设备主要包括扩散曝气、机械曝气和纯氧曝气等3种类型,扩散曝气属底部曝气,其流态趋向于推流;而机械曝气多数属于表面曝气,其流态趋向于完全混合和循环流。这4个要素在时间、空间和实施方式上的不同组合形成构成了各种各样的污水处理技术(流程)方案。

#### 一级与一级强化处理工艺

一级处理和一级强化处理,主要作为消减污染物总量的措施,一般应用于下列场合:

通过一级处理或一级强化处理,较大幅度地消减污染物总量后排入大江、大河或海洋,以合理利用环境容量;

作为城市污水处理厂分期分段建设的手段,以便根据经济实力,经济有效地逐步实现环境治理目标。

处理工艺的选择应依据城市污水处理设施建设的规划设计要求、建设规模和可利用的水环境容量。可选用常规一级处理、化学强化一级处理、AB法前段工艺、水解好氧法前段工艺。高负荷活性污泥法等技术。污泥一般采用浓缩后厌氧消化处理,或直接浓缩脱水处理。

#### 二级及二级强化处理工艺

城市污水处理厂工艺流程包括一级处理部分、二级处理部分和污泥处理部分。这三部分的工艺选择是相互关联的。

在一级处理中,一般情况下,粗格栅、进水泵房、细格栅、沉砂池是所有污水处理厂的必备单元。在污水生物除磷系统中一般不采用曝气沉砂池。初沉池的设置与否取决于:

- (1) 进水SS浓度及其构成;
- (2) 后续二级处理工艺;
- (3) 污泥处理工艺。

如果污泥采用厌氧消化方式处理,一般考虑设置初沉池,但后续生物处理工艺对进水浓度及水质构成比例关系要求时(例如除磷脱氮工作),应考虑设置初沉池的不利影响。如果污泥采用延时曝气法稳定处理,一般不设置初沉池,但进水SS浓度较高且含高比例无机物时,宜设置初沉池,以消除无机悬浮物对后续工艺的不利影响,初沉污泥可直接浓缩脱水或经过好氧消化后浓缩脱水。

对于大型污水处理厂,污泥一般采用厌氧消化稳定处理;对于中小型污水处理厂污泥可采用好氧消化处理,一般形延时曝气好氧稳定。污水生物处理工艺的选择主要取决于出水水质要求,没有除磷脱氮要求时(即二级处理),大中型污水处理厂一般可采用中等泥龄的常规活性污泥法或AB法等两段法处理工艺,污泥采用厌氧消化;对部分中型污水处理厂和大多数小型污水处理厂,污泥通常采用延时曝气好氧消化方式,由于泥龄较长,有必要考虑一定程序的氮磷去除,以提高环境效益,并降低能耗。部分小型污水处理



厂还可以采用生物膜法处理。

有较高的除磷脱氮要求时（二级强化处理），除大型污水处理厂外，可以不考虑污泥厌氧消化，而是结合生物脱氮所需的较和泥龄进行好氧稳定；脱氮一般采用硝化/反硝化原理，除磷一般采用生物除磷，必要时增加化学除磷。处理工艺及其实施方式主要取决于进出水水质和处理规模。

对于中等以上浓度污水，达到一级排放所需的处理功能为：生物除磷+化学除磷+硝化/反硝化，达到二级排放标准所需的处理功能为：生物（或化学）除磷+硝化 / 反硝化。对于低浓度污水，单独生物除磷效果较差，所需的处理功能为：生物除磷+化学除磷，一般不需要硝化处理。对于除磷功能需求不大的水质情况，也建议按生物除磷方式设计，厌氧池可以起到选择器的作用，有效控制污泥膨胀，改进污泥沉降性能。

生物除磷效果的好坏主要取决于厌氧池进水的快速生物降解有机物/TP有效比值，该有效比值取决于厌氧池进流（进水及回流污泥）的快速生物降解有机物浓度、磷浓度、硝酸盐浓度和溶解氧浓度。因此，水质特性的分析确定对工艺设计有很大的影响，硝酸盐的控制是工艺设计的关键。

对于大部分城市污水，就满足排放标准来说，所需要的处理程度为具有除磷和部分硝化功能的城市污水二级处理。由于硝化作用主要受硝化菌比增长速率、泥龄和温度控制。活性污泥中的硝化分成不硝化、部分硝化和完全硝化三种情况，其中部分硝化属于不可控制的高度不稳定过程，因此活性污泥系统中硝化作用只能按完全硝化或不硝化这两种方式设计，不能按部分硝化的方式设计。

当处理系统按硝化设计时，从生物除磷角度及降低能耗角度考虑，处理系统都必须具备反硝化能力，但反硝化程度应根据具体情况确定。出水总氮和总磷有要求时，根据总额及除磷要求综合考虑反硝化程度。出水总氮无要求但出水总磷控制较严时，可根据除磷要求考虑反硝化程度，主要目的是消除回流污泥硝酸盐对生物除磷的不利影响。

污水除磷包括生物除磷和化学除磷，生物除磷出水浓度可以达到  $1\text{mg/L}$ ，化学除磷出水浓度可以达到  $0.5\text{mg/L}$ 。对于二级排放标准，可以采用生物除磷为主，必要时增加化学除磷；对于一级排放标准，可以采用生物除磷与化学除磷相结合的方式，以降低化学药剂的消耗量。

## 自然净化处理工艺

在严格进行环境影响评价、满足国家有关标准要求和水体自净能力要求的条件下，可审慎采用城市污水排入大江或深海的处置方法。在有条件的地区，可利用荒地、闲地等可利用的条件，采用各种类型的土地处理和稳定塘等自然净化技术。城市污水二级处理出水不能满足水环境要求时，在条件许可的情况下，可采用土地处理系统和稳定塘等自然净化技术进一步处理。采用土地处理技术，应严格防止地下水污染。

## 污泥处理处置工艺

### 污泥浓缩

常见的污泥浓缩技术及其性能简述如下：

#### （1）工艺过程重力浓缩：

在沉淀池中通过形成高浓度污泥层完成；费用低，在一定的性能范围内简单有效；但对污水处理工段的性能可能产生不利影响，有效性受物理因素的限制，运行操作灵活性不高；一般适用于初沉污泥、化学性污泥和生物膜污泥的浓缩。

（2）单独的重力浓缩：在独立的重力浓缩池中完成；简单有效，有助于提高污水工段的性能；但投资费用较高。停留时间较长时可能产生臭味，而且不是所有污泥都有效；但用于生物除磷剩余污泥浓缩时，会出现磷的大量释放，其上清液需要采用石灰法进行除磷处理，适用于初沉污泥、化学污泥和生物膜污泥。

（3）空气气浮：操作简便，使用高分子可提高处理能力和固体回收率；有一定臭味，动力费用高，对污泥沉降性能（SVI）敏感；适用于余污泥产量不大的活性污泥法处理系统，尤其是生物除磷系统的剩余污泥。

（4）离心浓缩：自成系统，效果好，操作简单；但投资较高，动力费用较高，且需要较高水平的维护；



适用于大中型污水厂，生物和化学污泥。

(5) 带式重力浓缩机：投资低，运行费用中，效果好，对各种性能的污泥适应性强；受高分子影响，湿度大，需要仔细操作；适用于各种生物污泥。

### 污泥脱水

污泥脱水技术及其性能简介如下：

(1) 带式压滤机：设备简单，投资适中，操作简易，开关容易，可间歇运行；非封闭系统，具有臭味、湿度大、控制难问题，需要仔细操作；适用于各种规模污水处理厂及各种污泥。

(2) 离心脱水机：自成系统。运行时不需过多监视，干度较好；但需要特别维护，一般不适于间歇运行；适用于能连续运行的大中型污水厂，大量固体的处理。

(3) 板框压滤：含固率高；运行费高、间歇批次运行，维护量较大，运行操作较困难，适用于小量污泥处理或干度要求高的情况。

(4) 污泥干化床：费用低；占地面积大，卫生条件差；适用于小型污水厂消化污泥。

(5) 污泥塘：费用低，操作简单；占地大，有臭味；适用于中小型污水厂或生物塘。

### 污泥稳定

污泥稳定技术和性能分述如下：

(1) 厌氧消化：已有丰富经验，参耗低，可以通过沼气利用回收能源，操作简易，致病菌破坏率高，具有一定的贮泥作用；投资较高，没有减容作用；适用于大中型污水厂，污泥利用和填埋。

(2) 好氧消化：有两种方式，单独好氧消化或延时曝气同池好氧稳定；有丰富实践经验，投资较低，操作简易，设备简单，能存贮污泥；运行费用较高，致病菌破坏率较低，没有减容效果；适用于中小型污水厂，污泥利用。

(3) 堆肥：致病菌破坏率很高，产品可在城区及乡村应用；费用较高，存在臭味和灰尘问题，材料处理量大；适用于重金属和有毒有害有机物含量很低的污泥。

(4) 焚烧：仅残留灰分，减容减量明显；投资高，设备复杂，运行费用高，运行管理难度较大；适用于所有类型污水处理厂。

(5) 碱性稳定：易实施，投资费用低；运行费用较高，运行操作较困难，污泥不能长期在处理厂内存储；适用于暂时性和过渡性应用。