

附件：

HJ-BAT-002

## 环境保护技术文件

# 城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治 最佳可行技术指南(试行)

**Guideline on Best Available Technologies of Pollution Prevention and Control  
for Treatment and Disposal of Sludge from  
Municipal Wastewater Treatment Plant (on Trial)**

环境保护部

2010年2月

# 目 次

前言.....	III
1 总则.....	1
1.1 适用范围 .....	1
1.2 术语和定义 .....	1
2 城市污水污泥.....	1
2.1 污泥的特性及危害 .....	1
2.2 污泥处理处置技术 .....	1
3 污泥预处理及辅助设施.....	1
3.1 工艺原理 .....	1
3.2 工艺流程及产污环节 .....	2
3.3 污泥产生量及计量 .....	2
3.4 污泥预处理工艺类型 .....	3
3.5 消耗及污染物排放 .....	3
3.6 污泥脱水新技术 .....	3
4 污泥厌氧消化技术.....	4
4.1 工艺原理 .....	4
4.2 工艺流程及产污环节 .....	4
4.3 污泥厌氧消化工艺类型 .....	4
4.4 消耗及污染物排放 .....	5
4.5 污泥厌氧消化前处理新技术 .....	5
5 污泥好氧发酵技术.....	5
5.1 工艺原理 .....	5
5.2 工艺流程及产污环节 .....	6
5.3 污泥好氧发酵工艺类型 .....	6
5.4 消耗及污染物排放 .....	6
6 污泥土地利用技术.....	7
6.1 工艺原理 .....	7
6.2 工艺流程及产污环节 .....	7
6.3 污泥土地利用工艺类型 .....	7
6.4 消耗及污染物排放 .....	8
7 污泥焚烧技术.....	9
7.1 工艺原理 .....	9

7.2 工艺流程及产污环节 .....	9
7.3 污泥焚烧工艺类型 .....	9
7.4 消耗及污染物排放 .....	10
7.5 污泥焚烧新技术 .....	11
8 污泥处理处置污染防治最佳可行技术 .....	11
8.1 污泥处理处置污染防治最佳可行技术概述 .....	11
8.2 污泥预处理污染防治最佳可行技术 .....	11
8.3 污泥厌氧消化污染防治最佳可行技术 .....	12
8.4 污泥好氧发酵污染防治最佳可行技术 .....	15
8.5 污泥土地利用污染防治最佳可行技术 .....	17
8.6 污泥焚烧污染防治最佳可行技术 .....	18
附录A.....	21

## 前言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，加快建设环境技术管理体系，确保环境管理目标的技术可达性，增强环境管理决策的科学性，提供环境管理政策制定和实施的技术依据，引导污染防治技术进步和环保产业发展，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范等技术指导文件。

本指南可作为城镇污水处理厂污泥处理处置项目环境影响评价、工程设计、工程验收以及运营管理等环节的技术依据，是供各级环境保护部门、设计单位以及用户使用的指导性技术文件。

本指南为首次发布，将根据环境管理要求及技术发展情况适时修订。

本指南由环境保护部科技标准司组织制订。

本指南起草单位：北京市环境保护科学研究院、清华大学、机科发展科技股份有限公司、山西沃土生物有限公司、杭州环兴机械设备有限公司。

本指南由环境保护部解释。

## 1 总则

### 1.1 适用范围

本指南中污泥是指在城镇污水处理过程中产生的初沉池污泥和二沉池污泥，不包括格栅栅渣、浮渣和沉砂池沉砂。与城镇污水性质类似的污水在处理过程中产生的污泥，其处理处置可参照执行。列入《国家危险废物名录》或根据国家规定的危险废物鉴别标准和方法认定的具有危险特性的污泥，应严格按照危险废物进行管理，不适用本指南。

### 1.2 术语和定义

#### 1.2.1 最佳可行技术

是针对生活、生产过程中产生的各种环境问题，为减少污染物排放，从整体上实现高水平环境保护所采用的与某一时期技术、经济发展水平和环境管理要求相适应、在公共基础设施和工业部门得到应用的、适用于不同应用条件的一项或多项先进、可行的污染防治工艺和技术。

#### 1.2.2 最佳环境管理实践

是指运用行政、经济、技术等手段，为减少生活、生产活动对环境造成的潜在污染和危害，确保实现最佳污染防治效果，从整体上达到高水平环境保护所采用的管理活动。

## 2 城市污水污泥

### 2.1 污泥的特性及危害

城镇污水处理厂产生的污泥含水率高（75%~99%），有机物含量高，易腐烂。

污泥中含有具有潜在利用价值的有机质，氮、磷、钾和各种微量元素，寄生虫卵、病原微生物等致病物质，铜、锌、铬等重金属，以及多氯联苯、二噁英等难降解有毒有害物质，如不妥善处理，易造成二次污染。

### 2.2 污泥处理处置技术

#### 2.2.1 污泥处理技术

城镇污水处理厂污泥减容、减量、稳定以及无害化的过程称为污泥处理。本指南中污泥处理技术指污泥厌氧消化和污泥好氧发酵。由于污泥厌氧消化前需浓缩，污泥好氧发酵前需脱水，本指南将污泥浓缩、脱水列为污泥预处理技术。

#### 2.2.2 污泥处置技术

经处理后的污泥或污泥产品在环境中或利用过程中达到长期稳定，并对人体健康和生态环境不产生有害影响的最终消纳方式称为污泥处置。本指南中的污泥处置技术指污泥土地利用和污泥焚烧。

## 3 污泥预处理及辅助设施

### 3.1 工艺原理

城镇污水处理厂污泥预处理是指采用重力、气浮或机械等方法提高污泥含固率，减少污泥体积，有利于后续处理与处置。污泥预处理及辅助设施主要包括污水处理系统中初沉池和二沉池的污泥存储、浓缩、脱水、输送和计量等环节的设备、构筑物和相关辅助设施。

### 3.2 工艺流程及产污环节

污水处理系统产生的初沉污泥和剩余污泥排入集泥池，经提升至污泥浓缩池或浓缩设备。通常规模较大的城镇污水处理厂产生的污泥在浓缩后进入消化池。经浓缩或消化后的污泥机械脱水后存储在堆放间，外运处理或处置。污泥预处理工艺流程及主要产污环节见图 1。

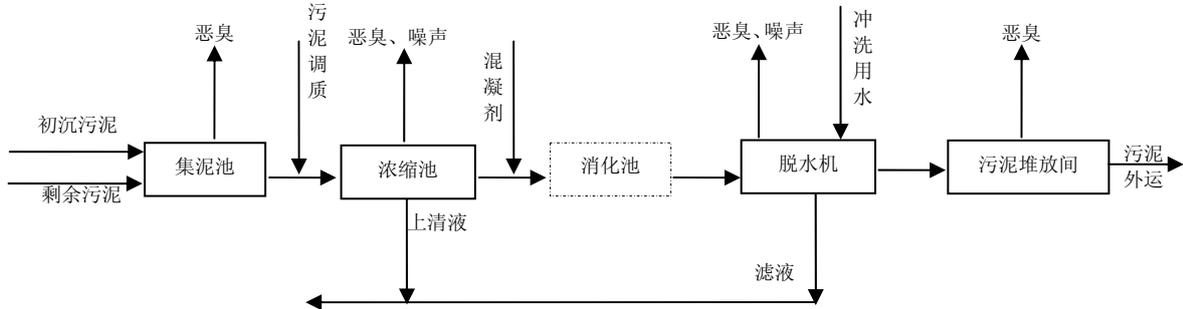


图 1 污泥预处理工艺流程及产污环节

污泥预处理过程中主要污染物为恶臭、污泥浓缩和脱水过程排放的上清液和滤液。

### 3.3 污泥产生量及计量

城镇污水处理厂污泥产生量的计量是污泥处理处置污染防治的基础，本指南对污泥产生量和计量方法做出规定。城镇污水处理厂应在污泥产生、贮存和处理的各单元设置计量装置。

#### 3.3.1 污泥产生量

各类型污水处理工艺及相关处理单元污泥产生量的计算参见附录 A。

#### 3.3.2 污泥计量

##### 3.3.2.1 初次沉淀池污泥计量

初沉池不接收剩余活性污泥时，污泥理论产生量参照附录 A 中公式 (A-1) 计算。当初沉池间歇排泥时，采用容积法计量污泥产生量，排泥量参照附录 A 中公式 (A-8) 计算。

##### 3.3.2.2 剩余活性污泥计量

设有初沉池的城镇污水处理厂剩余活性污泥理论产生量参照附录 A 中公式 (A-2) 计算。剩余活性污泥连续排放时，设置流量计计量污泥产生量；生物膜法中二沉池间歇排泥时，采用容积法计量，排泥量参照附录 A 中公式 (A-8) 计算。

不设初沉池的城镇污水处理厂剩余活性污泥理论产生量参照附录 A 中公式 (A-4) 计算。

##### 3.3.2.3 消化池污泥计量

设置计量装置计量厌氧消化池进、出泥量和沼气产量。进泥量为初沉污泥和剩余活性污泥之和，参照附录 A 中公式 (A-5) 进行计算。连续进出泥时，采用流量计计量污泥产生量，并记录累计流量。采用投配池间歇进泥时，采用容积法计量，并记录每次投泥前后投配池中污泥液位高度和每日进泥次数。

计量污泥消化池产生沼气的计量装置或仪表宜安装在消化池出气管道上，沼气计量装置应具有读取瞬时流量和累计流量的功能。

### 3.3.2.4 污泥的出厂计量和报告

城镇污水处理厂出厂污泥可采用地衡进行计量。城镇污水处理厂应为出厂污泥计量建立完善的记录、存档和报告制度。污泥在采用好氧发酵、土地利用及焚烧等处理处置方式时，城镇污水处理厂应采用运营记录簿（即台账）制度，并将记录结果提交相关环境保护管理部门和污泥最终处置单位。

## 3.4 污泥预处理工艺类型

### 3.4.1 污泥浓缩

污泥浓缩常采用重力浓缩和机械浓缩两种方法。机械浓缩包括离心浓缩、重力浓缩等方式。

### 3.4.2 污泥脱水

污泥脱水包括自然干化脱水、热干化脱水和机械脱水，本指南中特指机械脱水。常用的污泥机械脱水方式有压滤式和离心式，其中压滤式主要指板框式和带式。

## 3.5 消耗及污染物排放

### 3.5.1 预处理过程中药剂及能源消耗

#### 3.5.1.1 药剂消耗

污泥预处理过程中药剂消耗主要为调理剂，常用的调理剂包括无机混凝剂和有机絮凝剂两大类。无机混凝剂适用于板框式压滤，有机絮凝剂适用于带式压滤和离心式机械脱水。无机混凝剂用量通常为污泥干固体重量的 5%~20%。有机絮凝剂，如阳离子型聚丙烯酰胺（PAM）和阴离子型聚丙烯酰胺（PAM），用量通常为污泥干固体重量的 0.1%~0.5%。

#### 3.5.1.2 能源消耗

离心浓缩比能耗最高。重力浓缩的比能耗通常在 10 kW·h/tDS 以下，仅为离心浓缩的 1%。

污泥脱水阶段主要能源消耗来自脱水机械主机设备以及冲洗水、药剂添加等驱动力的消耗。板框压滤机、带式压滤机和离心脱水机的比能耗分别为 15~40 kW·h/tDS、5~20 kW·h/tDS 和 30~60 kW·h/tDS。

### 3.5.2 预处理污染物排放

#### 3.5.2.1 恶臭气体

污泥浓缩池硫化氢和氨气排放浓度分别为 1~50mg/m<sup>3</sup> 和 2~20mg/m<sup>3</sup>，臭气浓度（无量纲）通常为 10~60。

污泥脱水机房硫化氢和氨气排放浓度通常均为 1~40mg/m<sup>3</sup>，臭气浓度（无量纲）通常为 10~200。

#### 3.5.1.2 上清液和滤液

污泥浓缩脱水过程中产生的上清液和滤液（包括冲洗水）等废水中氮磷浓度较高，氨氮浓度约为 300 mg/L，总磷最大浓度约为 100 mg/L。

## 3.6 污泥脱水新技术

### 3.6.1 高压和滚压式污泥脱水机

污泥脱水新设备主要有高压污泥脱水机和滚压式脱水机。

高压脱水机的工作原理是将湿污泥（含水率 87%左右）投入由高压和低压系统组成的机械挤压系统中，经过多级连续挤压，脱水污泥含水率降至 30%~50%。该类型脱水机单位能耗约为 125 kW·h/tDS。

滚压式脱水机的工作原理是将湿污泥（含水率 85%~99.5%）投入圆形污泥通道，通道前端为浓缩区，后端为脱水区。浓缩污泥在脱水区经深度挤压后由出口闸门排出，滤液由通道两侧栅格的出水孔排出，并由脱水机下的污水槽收集。脱水后污泥含水率降至 60%~75.5%。

### 3.6.2 水热预处理+机械脱水

水热预处理+机械脱水指利用过热饱和和高温水蒸汽对污泥进行预处理后进行机械脱水，水蒸汽使污泥中生物体的细胞壁破碎，释放结合水，并降低污泥粘滞性。脱水后污泥含水率降至 50%左右。

## 4 污泥厌氧消化技术

### 4.1 工艺原理

污泥厌氧消化是指在厌氧条件下，通过微生物作用将污泥中的有机物转化为沼气，从而使污泥中有机物矿化稳定的过程。厌氧消化可降低污泥中有机物的含量，减少污泥体积，提高污泥的脱水性能。

### 4.2 工艺流程及产污环节

污泥经过浓缩池浓缩后，利用泵提升进入热交换器，然后进入厌氧消化池，在微生物作用下污泥中有机物得到降解。厌氧消化过程产生的沼气经脱水、脱硫后可作为燃料利用。消化稳定后的污泥经脱水形成泥饼外运处置。污泥厌氧消化工艺流程及产污环节见图 2。

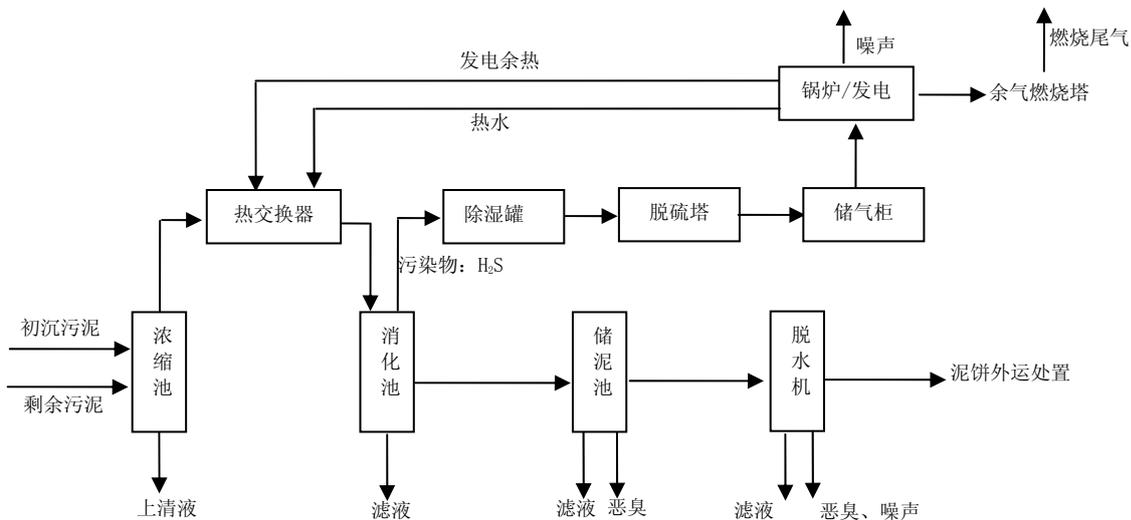


图 2 污泥厌氧消化工艺流程及产污环节

污泥厌氧消化产生的主要污染物包括消化液、沼气利用时排放的尾气以及设备噪声。

### 4.3 污泥厌氧消化工艺类型

#### 4.3.1 高温厌氧消化

经过浓缩、均质后的污泥（含水率 94%~97%）进入高温（ $53 \pm 2^\circ\text{C}$ ）厌氧消化池进行厌氧消化，有机物降解率可达 40%~50%，对寄生虫（卵）的杀灭率可达 99%，消化时间为 10~15d。高温厌氧消化池投配率以 7%~10%为宜。

该工艺的特点是微生物生长活跃，有机物分解速度快，产气率高，停留时间短，但需要维持消化池的高温运行，能量消耗较大，系统稳定性较差。

### 4.3.2 中温厌氧消化

经过浓缩、均质后的污泥（含水率 94%~97%）进入中温（35℃±2℃）厌氧消化池进行厌氧消化。中温厌氧消化分为一级中温厌氧消化（停留时间约 20 d）和二级中温厌氧消化（停留时间约 10 d）。中温厌氧消化池投配率以 5%~8%为宜。

该工艺的特点是消化速率较慢，产气率低，但维持中温厌氧的能耗较少，沼气产能能够维持在较高水平。

## 4.4 消耗及污染物排放

### 4.4.1 厌氧消化能源消耗

污泥厌氧消化的能耗主要用于维持厌氧反应温度及维持污泥泵、污水泵（进出料系统）、搅拌设备和沼气压缩机等设备运转。能耗水平取决于厌氧消化搅拌方式，搅拌强度通常为 3~5W/m<sup>3</sup>。

污泥厌氧消化的电耗占城镇污水处理厂全厂用电的 15%~25%；污泥加热的热耗占全厂热耗的 80%以上。如污泥消化产生的沼气全部用于发电，可解决整个城镇污水处理厂内 20%~30%的用电量。

### 4.4.2 厌氧消化污染物排放

#### 4.4.2.1 沼气利用排放的尾气

沼气中甲烷含量为 60%~65%，二氧化碳（CO<sub>2</sub>）含量为 30%~35%，硫化氢（H<sub>2</sub>S）含量为 0%~0.3%。

沼气燃烧或发电会产生尾气，尾气中主要污染物为氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）和一氧化碳（CO）。

#### 4.4.2.2 消化液

消化液中化学需氧量（COD<sub>Cr</sub>）浓度为 300~1500 mg/L；悬浮物（SS）浓度为 200~1000 mg/L；氨氮（NH<sub>3</sub>-N）浓度为 100~2000 mg/L；总磷（TP）浓度为 10~200 mg/L。

#### 4.4.2.3 噪声

污泥厌氧消化过程中噪声的主要来源为发电机。在未加隔声罩的情况下，国产发电机距机体 1 m 处噪声约 110dB（A）。

## 4.5 污泥厌氧消化前处理新技术

污泥厌氧消化前经过前处理，能够减少污泥消化的停留时间，提高产气量。污泥水热干化技术和超声波处理技术是污泥厌氧消化前处理技术中研究较成熟的两种技术。

污泥水热干化技术是指在一定温度和压力下使加热后污泥中的微生物细胞破碎，释放胞内大分子有机物，同时水解大分子有机物，进而破坏污泥胶体结构，从而改善污泥的脱水性能和厌氧消化性能。

超声波处理技术是指利用极短时间内超声空化作用形成的局部高温、高压条件，伴随强烈的冲击波和微射流，轰击微生物细胞，使污泥中微生物细胞壁破裂，进而减少消化的停留时间，提高产气量。

## 5 污泥好氧发酵技术

### 5.1 工艺原理

污泥好氧发酵是指在有氧条件下，污泥中的有机物在好氧发酵微生物的作用下降解，同时好氧反应释放的热量形成高温（>55℃）杀死病原微生物，从而实现污泥减量化、稳定化和无害化的过程。

## 5.2 工艺流程及产污环节

污泥好氧发酵通常包括前处理、好氧发酵、后处理和贮存等过程。前处理包括破碎、混合、含水率和碳氮比的调整；好氧发酵阶段通常采用一次发酵方式；后处理主要包括破碎和筛分，有时需要干燥和造粒。污泥好氧发酵工艺流程及产污环节见图 3。

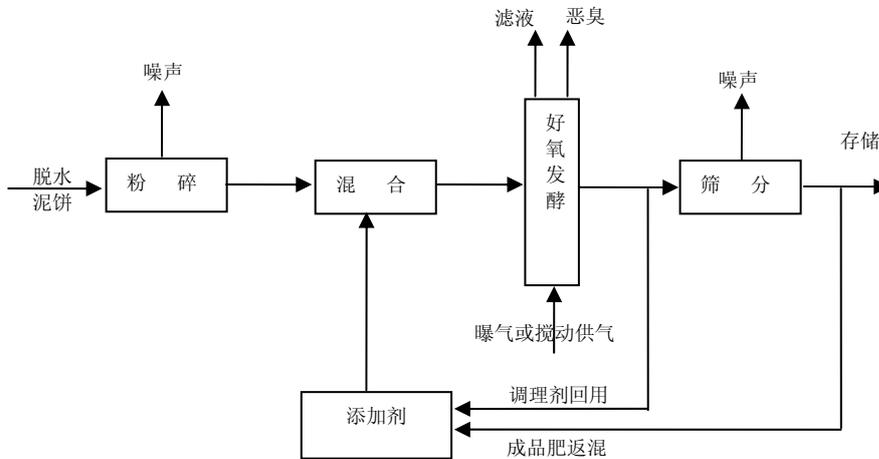


图 3 污泥好氧发酵工艺流程及产污环节

污泥好氧发酵过程中产生的主要污染物是恶臭气体、粉尘及滤液。

## 5.3 污泥好氧发酵工艺类型

### 5.3.1 条垛式好氧发酵

条垛式好氧发酵通常采用露天强制通风的发酵方式，经前处理工段处理后的混合物料被堆置在经防渗处理后的地面上，形成梯形断面的长条形条垛。条垛式好氧发酵分为静态和间歇动态两种工艺。

静态好氧发酵是指在污泥混合物料所堆放的地面上铺设供风管道系统，通过强制通风或抽气的方式为好氧发酵过程提供所需氧气。

间歇动态好氧发酵是指采用轮式或履带式等翻（抛）堆设备，定期翻堆，使混合物料与空气充分接触，保持好氧发酵过程所需氧气。

目前通常采用静态强制通风与定期翻堆相结合的条垛式好氧发酵工艺。

### 5.3.2 发酵槽（池）式好氧发酵

发酵槽（池）式好氧发酵是指在厂房中设置若干发酵槽，槽底设供风管道和排水管道，槽壁顶部设轨道，供翻堆机械移转，定期翻堆。发酵槽（池）式好氧发酵的典型工艺为阳光棚发酵槽。

阳光棚发酵槽是指利用阳光棚的透光和保温性能，提高发酵槽内温度。发酵槽底部安装通风管道系统，通过强制通风来保证好氧发酵过程所需氧气。

## 5.4 消耗及污染物排放

### 5.4.1 好氧发酵消耗

条垛式好氧发酵能耗为  $1\sim 7 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$  发酵产品。发酵槽（池）式好氧发酵能耗为  $5\sim 15 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$  发酵产品。

## 5.4.2 好氧发酵污染物排放

### 5.4.2.1 大气污染物

污泥好氧发酵微生物对有机质进行分解时产生恶臭气体，主要包括氨、硫化氢、醇醚类以及烷烃类气体。

污泥好氧发酵的翻堆和通风过程中会产生粉尘。

### 5.4.2.2 水污染物

污泥好氧发酵过程产生的滤液中化学需氧量（ $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ）浓度为 2000~6000 mg/L，五日生化需氧量（ $\text{BOD}_5$ ）浓度为 60~4500 mg/L。

条垛式污泥好氧发酵采用露天方式时需考虑场地雨水。

### 5.4.2.3 噪声

污泥好氧发酵过程中的噪声主要来源于前处理设备、翻堆设备和通风设备等，噪声水平为 70~85dB（A）。

## 6 污泥土地利用技术

### 6.1 工艺原理

污泥土地利用是指将经稳定化和无害化处理后的污泥通过深耕、播撒等方式施用于土壤中或土壤表面的一种污泥处置方式。污泥中丰富的有机质和氮、磷、钾等营养元素以及植物生长必需的各种微量元素可改良土壤结构，增加土壤肥力，促进植物的生长。本指南中的污泥土地利用不包括污泥农用。

### 6.2 工艺流程及产污环节

污泥土地利用工艺流程及产污环节见图 4。

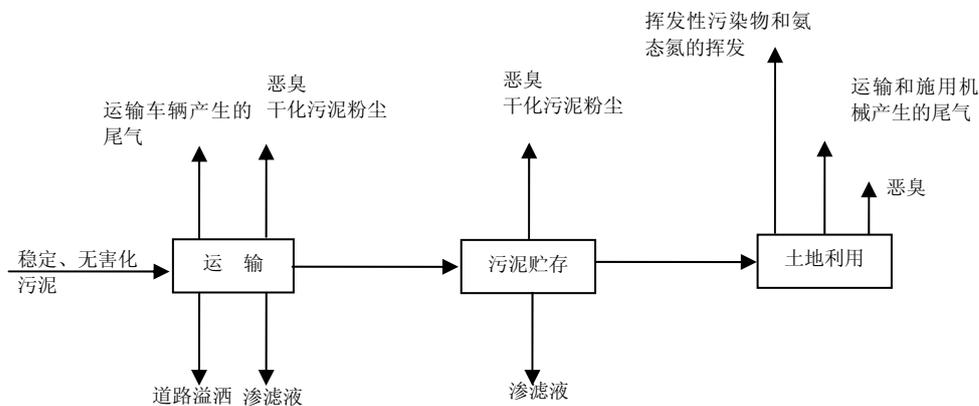


图 4 污泥土地利用工艺流程及产污环节

污泥土地利用过程排放的主要污染物是恶臭气体和粉尘。污泥中重金属、病原体等也会造成环境问题。

### 6.3 污泥土地利用工艺类型

#### 6.3.1 园林绿化

污泥用于园林绿化是指将污泥用作景观林、花卉和草坪等的肥料、基质和营养土。污泥中矿化的有机质和营养物质提供丰富的腐殖质和可利用度高的营养物质，可改善土壤结构和组成，并使营养物质更

易为植物吸收。

污泥用于园林绿化时，须根据树木种类采用不同的污泥施用量。

### 6.3.2 林地利用

污泥用于林地利用是指将污泥施用于密集生产的经济林，如薪材林或人工杨树林等。

将污泥施于幼林时，会出现与其他植物种类进行竞争的情况，从而降低幼树对营养物质和微量元素的摄入量，并增强杂草生长能力。

### 6.3.3 土壤修复及改良

土壤修复及改良是指将污泥用作受到严重扰动土地的修复和改良土，从而恢复废弃土地或保护土壤免受侵蚀。污泥可用在采煤场、取土坑、露天矿坑和垃圾填埋场等。

该方法的具体操作方式和环境影响取决于所施用场地的原有用途。

当目标是改善土壤质量时，可采用污泥直接施用或与其它肥料混合施用的方式。

## 6.4 消耗及污染物排放

### 6.4.1 土地利用物料消耗

污泥运输车辆和施用机械消耗燃料或电能，其消耗水平与施用量以及施用场地位置、大小和利用情况等有关。

### 6.4.2 土地利用污染物排放

#### 6.4.2.1 大气污染物

污泥贮存、运输及施用到土壤中后，污泥中的有机组分会持续挥发或降解，产生恶臭物质，以氨、硫化氢和烷烃类气体等形式排放。

污泥原料的贮存、运输、装卸以及污泥土地利用等过程会排放粉尘。

#### 6.4.2.2 水污染物

污泥土地利用时的运输和存储过程有滤液产生。

#### 6.4.2.3 有机污染物

经稳定化工艺（厌氧消化和好氧发酵等）处理后的污泥中仍含有未降解有机物，且含有少量难降解有机化合物，如苯并（a）芘、二噁英、可吸附有机卤化物和多氯联苯等。

#### 6.4.2.4 重金属及其化合物

污泥中主要含有铜、锌、镍、铬、镉、汞和铅等重金属，多以离子化合物形态存在，在土地利用过程中，应特别关注铜、锌和镉造成的环境问题。

#### 6.4.2.5 病原菌

经无害化处理后的污泥中蠕虫卵死亡率通常大于 95%，粪大肠菌群菌值大于 0.01。

#### 6.4.2.6 营养元素（氮、磷、钾等）

土地利用过程中，污泥中的氮、磷、钾等营养元素会随径流以淋失的方式进入地表水，以渗透的方式进入地下水体。

## 7 污泥焚烧技术

### 7.1 工艺原理

污泥焚烧是指在一定温度和有氧条件下，污泥分别经蒸发、热解、气化和燃烧等阶段，其有机组分发生氧化（燃烧）反应生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  等气相物质，无机组分形成炉灰/渣等固相惰性物质的过程。

### 7.2 工艺流程及产污环节

污泥焚烧系统主要由污泥接收、贮存及给料系统、热干化系统、焚烧系统（包括辅助燃料添加系统）、热能回收和利用系统、烟气净化系统、灰/渣收集和处理系统、自动监测和控制系统及其他公共系统等组成。污泥干化焚烧工艺流程及产污环节见图 5。

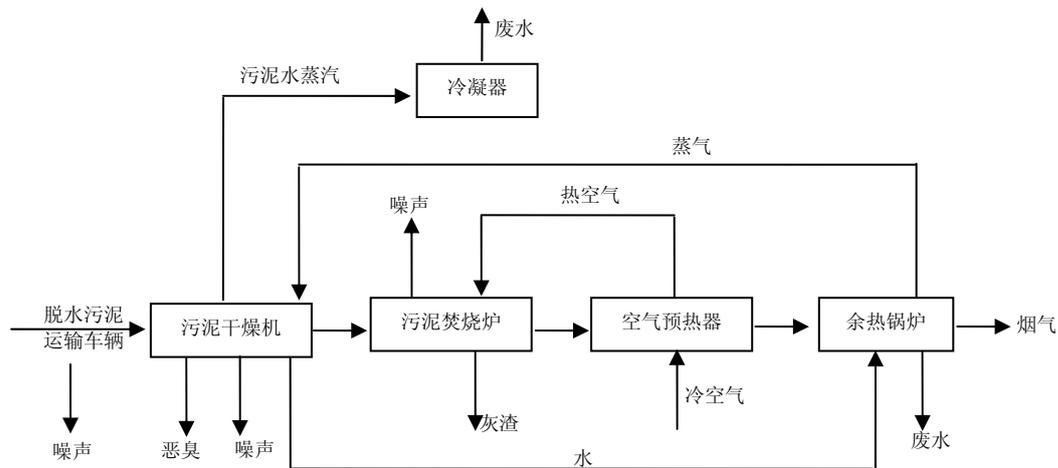


图 5 污泥干化焚烧工艺流程及产污环节

污泥焚烧过程排放的主要污染物有恶臭气体、烟气、灰渣、飞灰和废水。

### 7.3 污泥焚烧工艺类型

#### 7.3.1 前处理技术

污泥焚烧前处理技术通常指脱水或热干化等工艺，以提高污泥热值，降低运输和贮存成本，减少燃料和其他物料的消耗。

热干化工艺有半干化（含固率达到 60%~80%）和全干化（含固率达到 80%~90%）两种。热干化工艺一般仅用于处理脱水污泥，主要技术性能指标（以单机升水蒸发量计）为：热能消耗 2940~4200KJ/kg $\text{H}_2\text{O}$ ；电能消耗 0.04~0.90kW/kg $\text{H}_2\text{O}$ 。

污泥含固率在 35%~45%时，热值为 4.8~6.5MJ/kg，可自持燃烧，通常后面直接接焚烧工艺。用作土壤改良剂、肥料，或作为水泥窑、发电厂和焚烧炉燃料时，须将污泥含固率提高至 80%~95%。

#### 7.3.2 单独焚烧

单独焚烧是指在专用污泥焚烧炉内单独处置污泥。

流化床焚烧炉是目前单独焚烧技术中应用最多的焚烧装置，主要有鼓泡式和循环式两种，其中尤以鼓泡流化床焚烧炉应用较多。

污泥单独焚烧时，在焚烧炉启动阶段，可通过安装启动燃烧器或向焚烧炉膛内添加辅助燃料等方式将炉膛温度预热至 850℃ 以上，然后向焚烧炉炉膛内供给污泥。

### 7.3.3 混合焚烧技术

#### 7.3.3.1 污泥与生活垃圾混烧

在生活垃圾焚烧厂的机械炉排炉、流化床炉、回转窑等焚烧设备中，污泥可以以直接进料或混合进料的方式与生活垃圾混合焚烧。

污泥与生活垃圾直接混合焚烧时会增加烟气和飞灰产生量，降低灰渣燃烬率，增加烟气净化系统的投资和运行成本，降低生活垃圾发电厂的发电效率和垃圾处理能力。

#### 7.3.3.2 污泥的水泥窑协同处置

经水泥窑产生的高温烟气干化后的污泥进入水泥窑煅烧可替代部分黏土作为水泥原料，达到协同处置污泥的目的。干化后的污泥可在窑尾烟室（块状燃料）或上升烟道、预分解炉、分解炉喂料管（适用于块状燃料）等处喂料。

利用水泥窑系统处置污泥时须控制污泥中硫、氯和碱等有害元素含量，折合入窑生料其硫碱元素的当量比 S/R 应控制为 0.6~1.0，氯元素应控制为 0.03~0.04%。

利用水泥窑焚烧污泥的直接运行成本为 60~100 元/t（80%湿污泥）。

#### 7.3.3.3 污泥的燃煤电厂协同处置

可利用燃煤电厂的循环流化床锅炉、煤粉锅炉和链条炉等焚烧炉将污泥与煤混合焚烧。为提高污泥处置的经济性，优先考虑利用电厂余热干化污泥后进行混烧。

直接掺烧污泥会降低焚烧炉内温度和焚烧灰的软化点，增加飞灰产生量，增加除尘和烟气净化负荷，降低系统热效率 3%~4%，并引起低温腐蚀等问题。

利用火电厂焚烧污泥的单位运行成本为 100~120 元/t（80%湿污泥），系统改造成本约为 15 万元/t（80%湿污泥）。

## 7.4 消耗及污染物排放

### 7.4.1 焚烧物料消耗

污泥焚烧消耗的物料主要是燃料、水、碱性试剂和吸附剂（如活性炭）等。

为加热和辅助燃烧，需添加辅助燃料。将重油作为辅助燃料时，其消耗为 0.03~0.06 m<sup>3</sup>/t 干污泥；将天然气作为辅助燃料时，其消耗 4.5~20 m<sup>3</sup>/t 干污泥。

污泥焚烧主要用水单元是烟气净化系统，水耗均值约为 15.5 m<sup>3</sup>/t 干污泥。其中，干式烟气净化系统基本不消耗水，湿式系统耗水量最高，半湿式系统居于两者之间。

碱性试剂如氢氧化钠消耗为 7.5~33 kg/t 干污泥，熟石灰乳消耗为 6~22 kg/t 干污泥。

### 7.4.2 焚烧能量消耗

污泥焚烧厂主要消耗热能和电能。热能产出量与污泥低位热值高低密切相关，经由烟气处理和排放造成的热量损失约占污泥焚烧输出热量的 13%~16%。

污泥焚烧厂消耗电能的主要工艺单元是机械设备的运转，电耗通常为 60~100kW·h/t（80%湿污泥）。

### 7.4.3 污泥焚烧的污染物排放

#### 7.4.3.1 大气污染物

由于国内污泥焚烧大气污染物排放数据较少，根据对国外污泥焚烧厂大气污染物排放统计，污泥焚烧产生的烟气经净化处理后，通常烟尘排放浓度为 0.6~30 mg/m<sup>3</sup>；二氧化硫排放浓度为 50 mg/m<sup>3</sup> 以下；

氮氧化物（以  $\text{NO}_2$  计）排放浓度为  $50\sim 200 \text{ mg/m}^3$ ；二噁英排放浓度在  $0.1 \text{ ngTEQ/Nm}^3$  以下；重金属镉排放浓度为  $0.0006\sim 0.05 \text{ mg/m}^3$ ，汞排放浓度为  $0.0015\sim 0.05 \text{ mg/m}^3$ 。

#### 7.4.3.2 废水

湿式烟气净化系统会产生工艺废水。

灰渣收集、处理和贮存废水：采用湿式捞渣机收集灰渣时，会产生灰渣废水；污泥露天贮存时，雨水进入产生废水。

热干化过程中产生冷凝水，其化学需氧量（ $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ）含量高（约为  $2000 \text{ mg/L}$ ），氮也较高（约为  $600\sim 2000 \text{ mg/L}$ ），还含有一定量的重金属。

#### 7.4.3.3 固体残留物

污泥焚烧产生的飞灰约占焚烧固体残留物总量的 90%（流化床）；灰渣和烟气净化固体残留物合计约占焚烧固体残留物总量的 10%（流化床）。

### 7.5 污泥焚烧新技术

喷雾干燥+回转式焚烧炉技术是利用喷雾干燥塔的雾化喷嘴将经预处理的脱水污泥雾化，干燥热源主要为焚烧产生的高温烟气，干化后的污泥被直接送入回转式焚烧炉焚烧。尾气采用旋风除尘器+喷淋塔+生物除臭填料喷淋塔处理。

处理每吨含水率为 80%的脱水污泥，平均燃煤消耗量为  $30\sim 50 \text{ kg/t}$ （煤热值  $21000 \text{ KJ/kg}$ ），电耗为  $50\sim 60 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$ ；单位投资成本为 10 万~20 万元/t，单位直接运行成本为 80~100 元/t。

## 8 污泥处理处置污染防治最佳可行技术

### 8.1 污泥处理处置污染防治最佳可行技术概述

本指南选择污泥中温厌氧消化和污泥好氧发酵为污泥处理污染防治最佳可行技术，污泥土地利用和污泥干化焚烧为污泥处置污染防治最佳可行技术。污泥处理处置前采用浓缩、脱水等预处理方式。

对于实际污水处理规模大于  $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$  的城镇二级污水处理厂，其产生的污泥宜通过中温厌氧消化进行减量化、稳定化处理，同时进行沼气综合利用。

对于园林和绿地等土地资源丰富的中小型城市的中小型城镇污水处理厂，可考虑采用污泥好氧发酵技术处理污泥，并采用土地利用方式消纳污泥。厂址远离环境敏感点和敏感区域时，宜选用条垛式好氧发酵工艺；厂址附近有环境敏感点和敏感区域时，可选用封闭发酵槽式（池）好氧发酵工艺。

对于大中型城市且经济发达的地区、大型城镇污水处理厂或部分污泥中有毒有害物质含量较高的城镇污水处理厂，可采用污泥干化焚烧组合工艺处置污泥。应充分利用焚烧污泥产生的热量和附近稳定经济的热源干化污泥。污泥干化焚烧厂的选址应采取就近原则，避免远距离输送。

污泥干化技术应和焚烧以及余热利用相结合，不鼓励对污泥进行单独热干化。

### 8.2 污泥预处理污染防治最佳可行技术

#### 8.2.1 最佳可行工艺流程

污泥预处理污染防治最佳可行技术系统包括收集系统、浓缩系统、消化系统、脱水系统、存储与输送系统、计量系统及相关辅助设施等。污泥预处理污染防治最佳可行技术工艺流程见图 6。

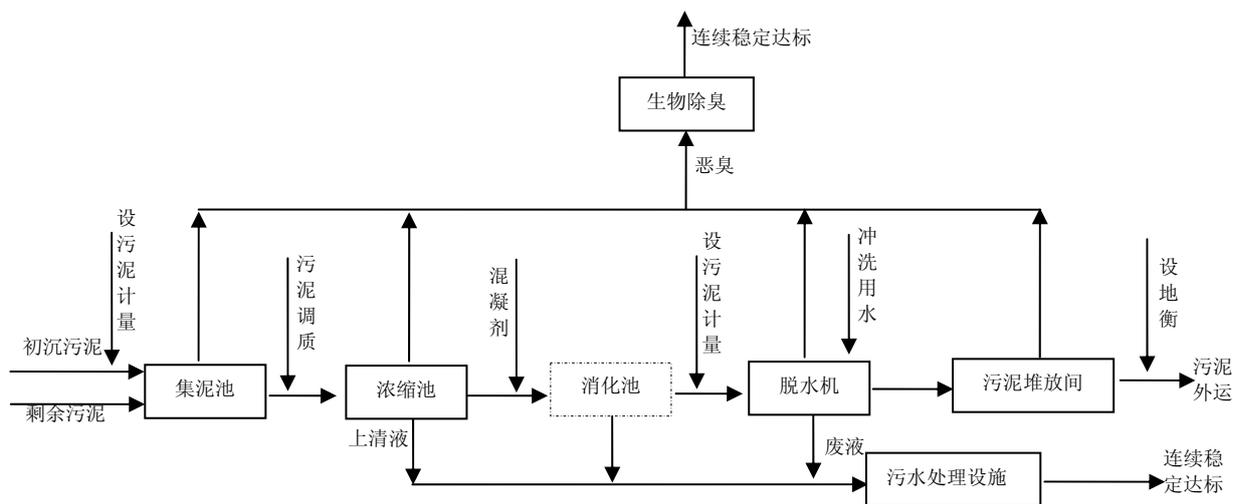


图 6 污泥预处理污染防治最佳可行技术工艺流程

### 8.2.2 最佳可行工艺参数

污泥预处理构筑物个数采用至少两个系列设计。

初沉污泥采用重力浓缩时，污泥固体负荷为  $80\sim 120\text{ kg/m}^2\cdot\text{d}$ ，停留时间宜为  $6\sim 8\text{ h}$ 。

混合污泥采用重力浓缩时，污泥固体负荷为  $50\sim 75\text{ kg/m}^2\cdot\text{d}$ ，停留时间宜为  $10\sim 12\text{ h}$ 。

进入脱水机前的污泥通常含水率大于  $96\%$ ，经脱水后的污泥含水率要求小于  $80\%$ 。

### 8.2.3 污染物削减及污染防治措施

城镇污水处理厂污泥预处理阶段的集泥池和浓缩池等构筑物采取加盖密闭并保持微负压，产生的恶臭气体可集中收集后进行生物除臭。脱水机房、泵房和堆放间等建筑物应采用微负压设计，建筑物顶部应设多个吸风口，经由风机和风管收集至集中处理设施进行处理后，使其连续稳定达标运行。

污泥浓缩的上清液及污泥脱水和设备清洗过程产生废水集中收集，单独处理后回流至污水处理厂。

离心脱水设备产生的噪声采取消声、隔声、减震等措施进行防治。

### 8.2.4 技术经济适用性

机械脱水适用于大、中型城镇污水处理厂。

间歇式重力浓缩适用于小型城镇污水处理厂；连续式重力浓缩适用于大、中型城镇污水处理厂。

有脱氮除磷要求的城镇污水处理厂宜采用机械浓缩。

对采用生物除磷污水处理工艺产生的污泥，宜采用浓缩脱水一体机等设备进行处理。

### 8.2.5 最佳环境管理实践

城镇污水处理厂附近有环境敏感点或敏感区域时，关键构筑物和建筑物保持微负压设计。

污泥经预处理后及时密闭运输或连接后续处理。

## 8.3 污泥厌氧消化污染防治最佳可行技术

### 8.3.1 最佳可行工艺流程

污泥中温厌氧消化污染防治最佳可行技术包括污泥预处理系统、污泥中温厌氧消化系统、沼气综合利用及净化系统、污染物控制系统。污泥浓缩后进入污泥厌氧消化系统，厌氧消化系统包括厌氧消化池、进出料和搅拌系统、加温系统、沼气收集净化和利用系统。

污泥中温厌氧消化污染防治最佳可行技术工艺流程见图 7。

### 8.3.2 最佳可行工艺参数

污泥中温厌氧消化污染防治最佳可行技术的工艺参数见表 1。

表 1 污泥中温厌氧消化污染防治最佳可行技术的工艺参数

项目	工艺参数	
中温厌氧消化	运行温度	最佳温度为 35℃±2℃
	一级消化时间	15~20 d
	二级消化时间	10 d
	pH	7~7.5
	消化池投配率	以 5%~8%为宜
	产气率	不小于 0.40~0.50m <sup>3</sup> /kgVS
	搅拌	采用机械搅拌或沼气搅拌。当池内各处污泥温度的变化范围不超过 1℃时，即认为搅拌均匀。
沼气综合利用	脱硫要求	采用干法脱硫时，沼气以 0.4~0.6m/min 的速度通过脱硫剂，接触时间通常为 2~3min；采用湿法脱硫时，采用 2%~3%的碳酸钠溶液从脱硫塔顶喷淋，沼气与吸收剂逆流接触，然后从顶部排出。
	硫化氢排放	采用脱硫工艺后 H <sub>2</sub> S 小于 20 mg/Nm <sup>3</sup>
	热电效率	沼气发电机组电效率应大于 33%，热回收效率应大于 35%，大型机组总效率应大于 80%。

### 8.3.3 污染物削减及污染防治措施

经中温厌氧消化后的污泥有机物降解率不小于 40%，蠕虫卵死亡率大于 95%。

沼气利用前采用脱水、脱硫等措施进行净化。

厌氧消化产生的消化液单独收集，集中处理，可采用脱氮工艺、化学除磷及鸟粪石结晶等方法处理。

沼气发电机组设备产生的噪声采用消声、隔声、减振等措施进行防治。室外设备须加装隔声罩。

### 8.3.4 技术经济适用性

城镇二级污水处理厂可采取中温厌氧消化进行减量化、稳定化处理，同时进行沼气综合利用。

通常情况下，污泥厌氧消化系统的工程投资占城镇污水处理厂总投资的 20%~30%。厌氧消化直接运行成本约为 0.05~0.10 元/吨污水（不包括固定资产折旧）。考虑沼气发电回收电量后，采用厌氧消化可降低城镇污水处理厂 20%~30%的电耗。

### 8.3.5 最佳环境管理实践

消化、脱水后的污泥进行临时堆放或存储时，采取防渗和防臭等措施。集泥池、浓缩池、污泥脱水机房和污泥堆放间等建（构）筑物在环境敏感点或敏感区域采取微负压设计。

沼气利用时制定安全管理制度。在消化池、储气柜、脱硫间周边划定重点防火区，并配备消防安全设施；非工作人员未经许可不得进入厌氧消化管理区内；在可能的泄漏点设置甲烷浓度超标及氧亏报警装置。

在沼气贮气柜的运行维护中保证压力安全阀处于正常工作状态；保证冬季气柜内水封不结冰，必要时在气柜迎风面设移动式风障，防止大风对气柜浮盖升降造成影响。

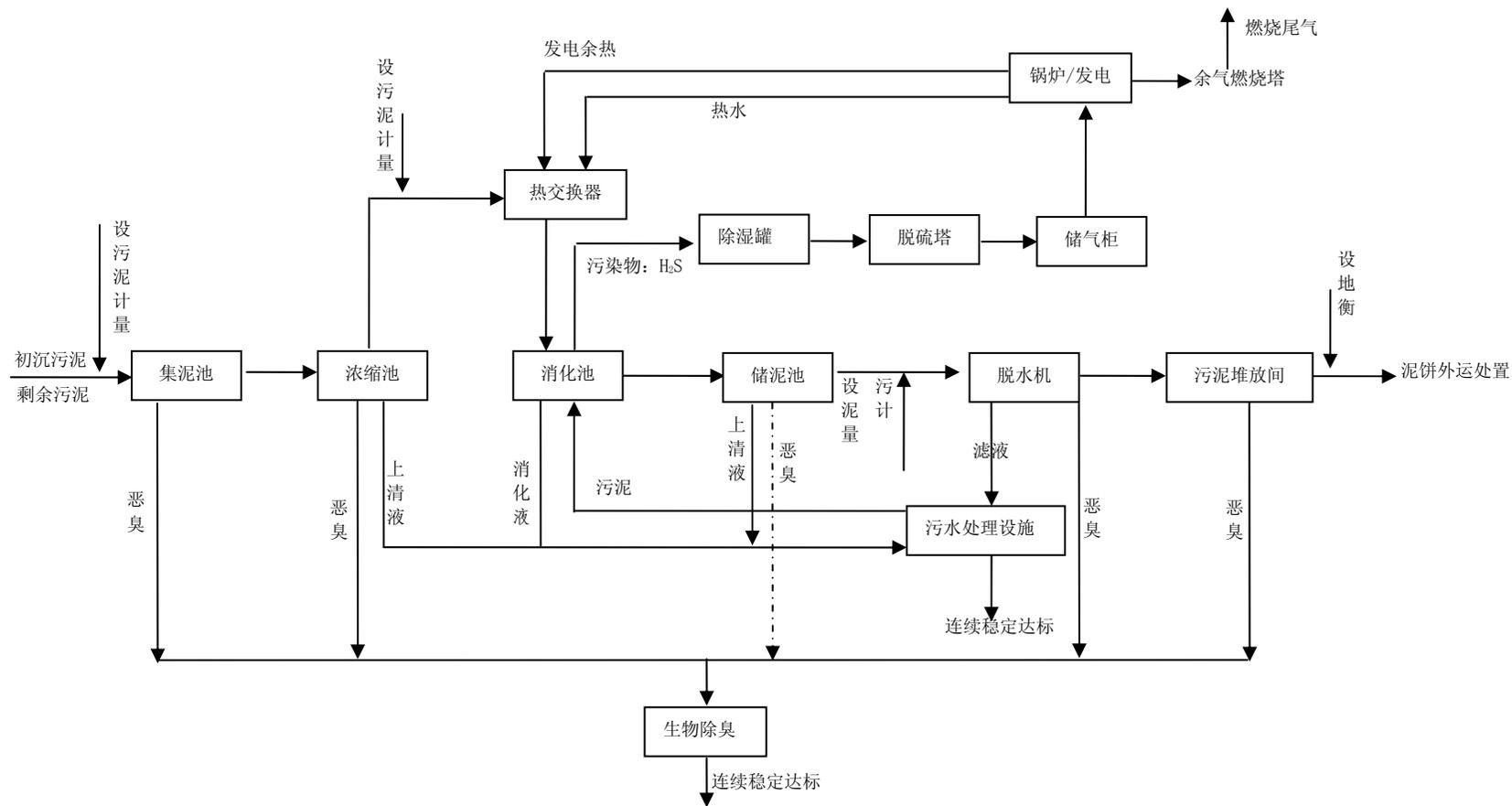


图 7 污泥中温厌氧消化污染防治最佳可行技术工艺流程

## 8.4 污泥好氧发酵污染防治最佳可行技术

### 8.4.1 最佳可行工艺流程

污泥好氧发酵污染防治最佳可行技术包括前处理、好氧发酵、后处理及臭气污染控制。

污泥好氧发酵污染防治最佳可行技术工艺流程见图 8。

### 8.4.2 最佳可行工艺参数

好氧发酵前，污泥混合物料含水率调到 55%~65%，碳氮比（C/N）为 25:1~35:1，有机质含量通常不小于 50%，pH 值 6~8。

采用条垛式好氧发酵时，无通风典型动态发酵周期约 20 d；加设通风系统后发酵周期约 15 d，温度 55℃ 以上持续 5~7 d。

采用发酵槽（池）式好氧发酵时，阳光棚发酵槽每隔 1~2 d 翻堆一次，温度 55℃ 以上持续 5~7 d，发酵周期约 20 d。

好氧发酵堆体上部铺设 5~10cm 的覆盖物料吸附恶臭气体。

发酵时，静态好氧发酵强制通风，每 1m<sup>3</sup> 物料通风量 0.05~0.2 m<sup>3</sup>/min，非连续通风；间歇动态好氧发酵可参考静态工艺并依生产试验的结果确定通风量，保证好氧发酵在最适宜条件下进行。

### 8.4.3 污染物削减及污染防治措施

经好氧发酵处理后的污泥含水率小于 40%，有机物降解率大于 40%，蠕虫卵死亡率大于 95%，粪大肠菌群菌值大于 0.01，种子发芽指数不小于 70%。

污泥好氧发酵过程中产生的恶臭气体宜集中收集后进行生物除臭。

粉尘集中收集后采用除尘器进行处理。

污泥好氧发酵场产生的滤液以及露天发酵场的雨水集中收集，部分回喷至混合物料堆体，补充发酵过程中的水分要求，其余回流到城镇污水处理厂或自建的处理装置。

对于污泥好氧发酵设备产生的噪声采取消声、隔振、减噪等措施进行防治。

### 8.4.4 技术经济适用性

在园林和绿地资源丰富的中小城市的中小型城镇污水处理厂，宜选用高温好氧发酵方式集中建设污泥发酵场处理污泥。

厂址远离环境敏感点和敏感区域时，可采用条垛式好氧发酵工艺；厂址附近有环境敏感点或敏感区域时，宜采用封闭发酵槽（池）式好氧发酵工艺。

在中、小规模条垛宜使用斗式装载机或推土机；在大规模的条垛宜使用垮式翻堆机或侧式翻堆机。

设计完整的污泥好氧发酵系统的投资为 30~50 万元/t(80%含水率)，经营成本约为 80~150 元/吨脱水污泥。

### 8.4.5 最佳环境管理实践

设置完善的污泥产品监测系统，严格控制污泥堆肥产品质量。仅允许符合国家相关标准要求的污泥好氧发酵产品出厂、销售或施用。

定期对污泥堆体温度、氧气浓度、含水率、挥发性有机物含量及腐熟度等进行监测。污泥好氧发酵车间可在线监测硫化氢、氨气浓度。

单独建设发酵场或在城镇污水处理厂内建设的污泥发酵场不能满足卫生防护距离时，采用完全封闭的发酵工艺，厂房采用微负压设计。



在好氧发酵车间布设气体收集系统，通过引风机将车间内的恶臭气体送入除臭装置，保证车间及场区内的环境安全和操作人员的健康。

污泥好氧发酵场不在城镇污水处理厂内时，应获得有关部门的许可。采用密封良好的运输车辆或船舶按相关规定输送污泥，并建立应急管理制度。

## 8.5 污泥土地利用污染防治最佳可行技术

### 8.5.1 最佳可行工艺流程

污泥土地利用污染防治最佳可行技术主要是将经稳定化和无害化处理后的污泥或污泥产品进行园林绿化、林地利用或土壤修复及改良等综合利用。

污泥土地利用污染防治最佳可行技术工艺流程见图 9。

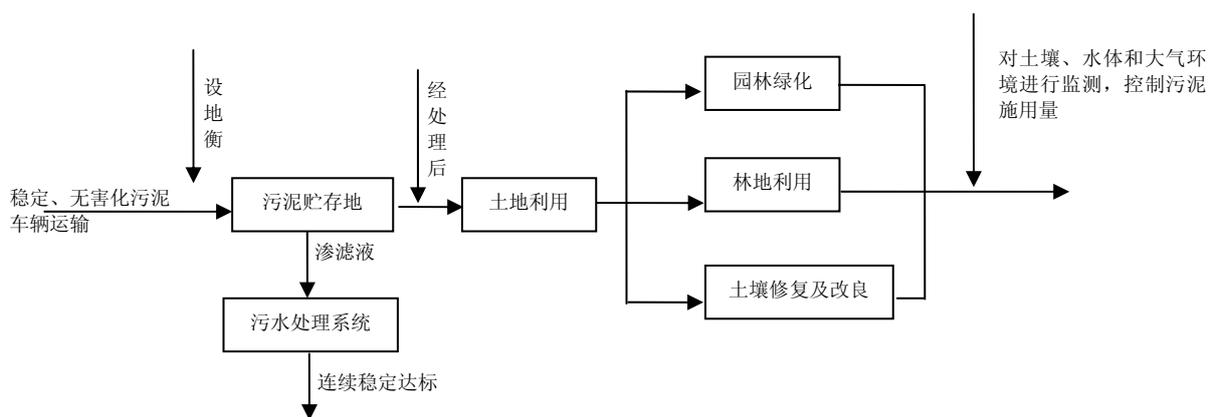


图 9 污泥土地利用污染防治最佳可行技术工艺流程

### 8.5.2 最佳可行工艺参数

采用土地利用方式处置的污泥应满足表 2 中的要求。

表 2 污泥土地利用污染防治最佳可行技术施用污泥的指标要求

项目		相关参数要求
无害化指标	臭度	<2 级（六级臭度）
	粪大肠菌群菌值	0.01
	蠕虫卵死亡率	>95%
	种子发芽指数	≥70%
	pH	5.5~8.5
稳定化指标	含水率	≤45%
	有机物降解率	≥40%
污泥污染物限值 (最高最高容许含量 mg/kg)	其它	样品在 20℃继续消化 30d，挥发份组分的减量须少于 15%；或比好氧呼吸速率小于 1.5mgO <sub>2</sub> /h·g 污泥(干重)
	镉及其化合物（以 Cd 计）	20
	汞及其化合物（以 Hg 计）	15
	铅及其化合物（以 Pb 计）	1000
	铬及其化合物（以 Cr 计）	1000
	砷及其化合物（以 As 计）	75
	硼及其化合物（以 B 计）	150
	矿物油	3000
	苯并（a）芘	3
	铜及其化合物（以 Cu 计）	500
	锌及其化合物（以 Zn 计）	1000
镍及其化合物（以 Ni 计）	200	

污泥施用避开降水期和夏季炎热高温气候，施用前将污泥或污泥与土壤的混合物堆置大于 5d。

污泥用作园林绿化草坪或花卉种植介质土时，单位施用量为 6~12kgDS/m<sup>2</sup>；用作小灌木栽培介质土时，单位施用量为 12~24kgDS/m<sup>2</sup>；用作乔木栽培介质土时，单位施用量为 10~80kgDS/m<sup>2</sup>。

施用场地的坡度宜大于 6%，并采取防止雨水冲刷、径流等措施。

污泥林地利用时，在施用污泥期间及施用后 3 个月内，限制人以及与人接触密切的动物进入林地；施用污泥时，氮含量每年每公顷用量不超过 250kg（以 N 计），磷含量每年每公顷用量不超过 100kg（以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计）。

### 8.5.3 污染物削减及污染防治措施

污泥堆放、贮存设施和场所进行防渗、防溢流和加盖等措施防止滤液及臭气污染；渗滤液集中收集和处理。

有效控制污泥的施用频率和施用量，同时加强对施用场地的监测。

### 8.5.4 技术经济适用性

在土地资源丰富的地区可考虑污泥土地利用的方式消纳污泥，处置前应进行稳定化和无害化处理。

污泥土地利用的成本与效益情况因污泥用途而异。利用污泥替代有机肥、常规基质和客土修复材料时，可节省相应的开支。

### 8.5.5 最佳环境管理实践

采用密闭车辆运输污泥，设置专用污泥堆存、存储设施和场所。

污泥土地利用前，应进行场地环境影响评价和风险评价；委托有资质的监测单位对施用场地的土壤、地下水和大气环境中各项污染物指标背景值进行监测，并定期对施用前的污泥、施用污泥后的土壤和土壤上种植的各种植物等进行取样监测和分析，且保存监测和分析记录 5 年以上。

加强对污泥土地利用的有效管理，确保有效的径流控制，阻止污泥流入地表水域。禁止在敏感水体附近的草坪、森林、沙地、湿地或开垦地施用污泥。

加强对污泥质量和施用污泥后场地的监测，监测项目主要包括重金属（铬、铜、铅、汞、锌等）、总氮、硝态氮、病原菌、蚊蝇密度和细菌总数等。大面积施用污泥前需进行稳定程度测试和重金属含量分析，不合格产品不能直接施用。

污泥林地利用可选择在树木砍伐后的林地、处于树苗期的林地或成树期的林地施用。施用方式可采用穴施、翻土作垄和犁沟等形式。雨季和冰冻期禁止施用污泥。

## 8.6 污泥焚烧污染防治最佳可行技术

### 8.6.1 最佳可行工艺流程

污泥焚烧污染防治最佳可行技术主要包括污泥接收、贮存及给料系统，干化系统，焚烧系统，余热回收及热源补充系统，烟气处理系统，臭气收集及处理系统，给排水系统，压缩空气系统，通风和空调系统，电气系统和自控系统等。

污泥干化焚烧污染防治最佳可行技术工艺流程见图 10。

### 8.6.2 最佳可行工艺参数

污泥焚烧高温烟气在 850℃ 以上的停留时间大于 2 秒，灰渣热灼减率不大于 5%或总有机碳（TOC）不大于 3%。

循环流化床焚烧炉流化速度通常为 3.6~9 m/s，鼓泡流化床焚烧炉流化速度通常为 0.6~2 m/s。



污泥与生活垃圾混合焚烧时，污泥与生活垃圾的质量之比不超过 1 : 4；利用水泥窑炉混烧的污泥汞含量小于 3 mg/kgDS，最大进料比例不超过混合物料总量的 5%。

采用半干法烟气净化处理工艺时，烟气停留时间 10~15s，碱性吸附剂过量系数 1.5~2.5，脱酸效率 >98%。为防止布袋除尘器发生露点腐蚀，入口气体温度应为 130~140℃。

### 8.6.3 污染物削减及污染防治措施

预除尘+半干法是最佳烟气净化组合系统之一。预除尘可选用旋风除尘器，半干法可选用喷雾洗涤器与袋式除尘器的组合。添加碱性吸附剂后的脱酸效率可达 90%以上，可去除 0.05~20μm 的粉尘，除尘效率可达 99%以上。在布袋除尘器后采用选择性非催化还原法（SNCR），可达到 30%~70%的脱硝效率。在标准状态下，干烟气含氧量以 6%计，烟尘排放浓度不大于 30 mg/m<sup>3</sup>，二氧化硫不大于 350 mg/m<sup>3</sup>，氮氧化物不大于 450 mg/m<sup>3</sup>。

为避免二噁英的生成及其前驱物的合成，应通过优化炉膛设计、优化过量空气系数、优化一次风和二次风的供给和分配、优化燃烧区域内烟气停留时间、温度、湍流度和氧浓度等设计和运行控制方式；避免或加快（<1S）在 250~400℃的温度范围内去除粉尘。在除尘器之前的烟气流中喷射含碳物质、活性炭或焦炭等吸附剂，可降低二噁英排放。

污泥焚烧系统产生的废水集中收集处理。

污泥焚烧过程产生的灰渣以及烟气净化产生的飞灰分别收集和储存。灰渣集中收集处置，飞灰经鉴别属于危险废物的，按危险废物进行处置。

### 8.6.4 技术经济适用性

在大中型城市且经济发达的地区、大型城镇污水处理厂或部分污泥中有毒有害物质含量较高的城镇污水处理厂，可采用污泥干化焚烧技术处置污泥。

污泥焚烧以流化床焚烧炉应用最为普遍。流化床焚烧炉通常适合污泥大规模集中处置。鼓泡流化床适用于焚烧热值较低的污泥，循环式流化床适用于焚烧热值较高的污泥。

若干化和焚烧系统均采用国产设备，干化焚烧项目的投资成本为 30~35 万/吨脱水污泥（含水率以 80%计）；若全部采用进口设备，干化焚烧项目的投资成本为 40~50 万/吨脱水污泥（含水率以 80%计）。

污泥干化焚烧的直接运行成本约为 100-150 元/吨脱水污泥（含水率以 80%计，不包括固定资产折旧）。

### 8.6.5 最佳环境管理实践

污泥干化焚烧厂的选址遵循就近原则，优先考虑充分利用污泥焚烧产生的热量和附近稳定的热源对污泥进行干化后再焚烧处置。

建立入厂污泥质量控制系统，并定期对污泥中砷、镉、铬、铅和镍等重金属进行监测。

安装自动辅助燃烧器，使焚烧炉启动和运行期间燃烧室保持 850℃以上的燃烧温度。连续在线监测和调控炉膛温度、氧气含量、压力、烟气出口温度和水蒸气含量等工艺运行参数。

安装大气污染物连续在线监测装置，监测粉尘、氯化氢、二氧化硫、一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物，定期监测重金属和二噁英，每年至少 2~4 次。

脱水污泥贮存区（包括贮存罐和贮存仓）加盖并保持微负压。空气中甲烷含量不应超过 1.25%，并宜将贮存区空气抽做焚烧炉一次风。焚烧炉不运行期间，应避免污泥贮存过量。干化污泥贮存时，其温度不宜高于 40℃，贮存罐须保持良好通风，并设置除臭系统。

制定应急预案，防止事故的发生。污泥焚烧厂安装消防、防爆、自动监测和报警系统，确保焚烧设备安全、稳定、连续达标运行。

## 附录 A

### A.1 污水预处理工艺的污泥产量

污水预处理通常包括初沉池、水解池、AB 法 A 段和化学强化一级处理工艺等，其污泥产量计算如下式：

$$\Delta X_1 = a \cdot Q(SS_i - SS_0) \quad (\text{A-1})$$

式中  $\Delta X_1$ ——预处理污泥产生量，kg/d；

$SS_i$ ——进水悬浮物质量浓度， $\text{kg/m}^3$ ；

$SS_0$ ——出水悬浮物质量浓度， $\text{kg/m}^3$ ；

$Q$ ——设计平均日污水流量， $\text{m}^3/\text{d}$ ；

$a$ ——系数，无量纲，初沉池  $a=0.8\sim 1.0$ ，排泥间隔较长时，取下限；

AB 法 A 段  $a=1.0\sim 1.2$ ；水解工艺  $a=0.5\sim 0.8$ ；化学强化一级处理和深度处理工艺根据投药量， $a=1.5\sim 2.0$ 。

### A.2 带预处理系统的活性污泥法及其变形工艺剩余污泥产生量

$$\Delta X_2 = \frac{(aQL_r - bX_v V)}{f} \quad (\text{A-2})$$

式中  $\Delta X_2$ ——剩余活性污泥量，kg/d；

$f$ ——MLVSS/MLSS 之比值，对于生活污水，通常为  $0.5\sim 0.75$ ；

$$L_r = L_a - L_e \quad (\text{A-3})$$

$L_r$ ——有机物浓度（ $\text{BOD}_5$ ）降解量， $\text{kg/m}^3$ ；

$L_a$ ——曝气池进水有机物（ $\text{BOD}_5$ ）浓度， $\text{kg/m}^3$ ；

$L_e$ ——曝气池出水有机物（ $\text{BOD}_5$ ）浓度， $\text{kg/m}^3$ ；

$V$ ——曝气池容积， $\text{m}^3$ ；

$X_v$ ——为混合液挥发性污泥浓度， $\text{kg/m}^3$ ；

$a$ ——污泥产生率系数， $\text{kgVSS}/\text{kgBOD}_5$ ，通常可取  $0.5\sim 0.65$ ；

$b$ ——污泥自身氧化率， $\text{kg/d}$ ，通常可取  $0.05\sim 0.1$ ；

### A.3 不带预处理系统的活性污泥法及其变形工艺剩余污泥产生量

$$\Delta X_3 = \frac{[YQ(S_o - S_e) - K_d V X_v]}{f} + f_1 Q(SS_o - SS_e) \quad (\text{A-4})$$

式中  $\Delta X_3$ ——剩余活性污泥量，kg/d；

$Y$ ——污泥产率系数， $\text{kgVSS}/\text{kgBOD}_5$ ， $20^\circ\text{C}$  时为  $0.3\sim 0.6$ ；

$S_o$ ——生物反应池内进水五日生化需氧量， $\text{kg/m}^3$ ；

$S_e$ ——生物反应池内出水五日生化需氧量， $\text{kg/m}^3$ ；

$K_d$ ——衰减系数， $\text{d}^{-1}$ ，通常可取  $0.05\sim 0.1$ ；

$V$ ——生物反应池容积， $\text{m}^3$ ；

$X_v$ ——生物反应池内混合液挥发性悬浮固体（MLVSS）平均浓度， $\text{g/L}$ ；

$f$ ——MLVSS/MLSS 之比值，对于生活污水，通常为  $0.5\sim 0.75$ ；

$f_1$ ——悬浮物（SS）的污泥转化率，宜根据试验资料确定，无试验资料时可取 0.5～0.7gMLSS/gSS；带预处理系统的取下限，不带预处理系统的取上限。

$SS_0$ ——生物反应池内进水悬浮物浓度， $kg/m^3$ ；

$SS_e$ ——生物反应池内出水悬浮物浓度， $kg/m^3$ 。

#### A. 4 带有预处理的好氧生物处理工艺污泥总产量

通常指带有初沉池、水解池、AB 法 A 段等预处理工艺的二级污水处理系统，会产生两部分污泥。带深度处理工艺时，其污泥总产生量计算公式如下：

$$W_1 = \Delta X_1 + \Delta X_2 \quad (A-5)$$

式中  $W_1$ ——污泥总产生量， $kg/d$ ；

$\Delta X_1$ ——预处理污泥产生量， $kg/d$ ；

$\Delta X_2$ ——剩余活性污泥量， $kg/d$ 。

#### A. 5 不带预处理的好氧生物处理工艺污泥总产量

通常指具有污泥稳定功能的延时曝气活性污泥工艺（包括部分氧化沟工艺、SBR 工艺），污泥龄较长，污泥负荷较低。该工艺只产生剩余活性污泥，其污泥总产生量计算公式如下：

$$W_3 = \Delta X_3 \quad (A-6)$$

式中  $W_3$ ——污泥总产生量， $kg/d$ ；

$\Delta X_3$ ——剩余活性污泥量， $kg/d$ 。

#### A. 6 消化工艺污泥总产量

通常指城镇污水处理厂采用消化工艺对污泥进行减量稳定化处理，处理后污泥量计算公式如下：

$$W_2 = W_1 \cdot (1 - \eta) \left( \frac{f_1}{f_2} \right) \quad (A-7)$$

式中  $W_2$ ——消化后污泥总量， $kg/d$ ；

$W_1$ ——原污泥总量， $kg/d$ ；

$\eta$ ——污泥挥发性有机固体降解率， $\eta = \frac{q \times k}{0.35(W \times f_1)} \times 100\%$ （0.35 是 COD 的甲烷转化系数，

通常  $(W \times f_1)$  大于 COD 浓度，且随污泥的性质不同发生变化； $q$ ，实际沼气产生量， $m^3/h$ ； $k$ ，沼气中甲烷含量，%； $W$ ，厌氧消化池进泥量，干污泥（DSS）计， $kg/h$ ； $f_1$ ，进泥中挥发性有机物含量）；

$f_1$ ——原污泥中挥发性有机物含量，%；

$f_2$ ——消化污泥中挥发性有机物含量，%。

#### A. 7 初次沉淀池污泥计量

排泥量计算公式：

$$V_1 = S \sum_{i=1}^n (h_{f,i} - h_{a,i}) - Q_i t_i \quad (A-8)$$

式中  $V_1$ ——初沉池每日排泥量， $m^3/d$ ；

$n$ ——每日排泥次数（ $d^{-1}$ ）， $n=24/T$ ， $T$  为排泥周期， $h$ ；

$S$ ——初沉池截面积， $m^2$ ；

$h_{f,i}$ ——集泥池中初沉污泥排泥前泥位, m;

$h_{a,i}$ ——集泥池中初沉污泥排泥后泥位, m;

$Q_i$ ——初沉池排泥期间, 集泥池(浓缩池)提升泵流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$t_i$ ——初沉池排泥时间, h。