

附件二：

中华人民共和国污染防治最佳可行技术导则

XXXX - 200X

污水处理厂污泥处理处置最佳可行技术导则 (征求意见稿)

**Best Available Techniques Directive for Treatment and Disposal of Sludge
from Wastewater Treatment Plant**

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家环境保护部 发布

目 录

前 言.....	1
1、最佳可行技术(BAT)的定义及作用	2
2、BAT 的确定原则.....	3
3、适用范围	3
第一章 概述.....	4
1.1 污泥的特性及危害	4
1.1.1 污泥的特性	4
1.1.2 污泥对环境的危害.....	5
1.2 污泥处理处置工艺.....	6
1.2.1 污泥处理过程涉及的污染问题.....	6
1.2.2 污泥处置技术	8
第二章 污泥预处理及辅助设施管理	10
2.1 污水预处理工艺流程及产污环节	10
2.2 污泥产生及计量	11
2.2.1 污泥处理产生量和计量.....	11
2.2.2 污泥的计量	13
2.3 污水预处理工艺介绍	14
2.3.1 污泥浓缩	14
2.3.2 污泥脱水	14
2.4 污泥预处理工艺物料及能源消耗	15
2.5 污泥预处理过程主要的污染物	15
2.6 污染控制技术.....	16
2.7 污泥预处理环境管理实践	17
2.7.1 工艺流程	17
2.7.2 环境控制	17
2.8 污泥脱水新技术	18
第三章 污泥消化技术.....	19
3.1 厌氧消化流程及产污环节	19
3.2 厌氧消化工艺及能耗和污染物排放	19
3.2.1 厌氧消化工艺	19

3.2.2 能耗及污染物排放.....	21
3.3 确定 BAT 时需考虑的内容	22
3.3.1 中温厌氧消化技术.....	22
3.3.2 综合利用技术	22
3.3.3 末端技术	23
3.4 污泥消化可行技术	25
3.4.1 技术适用范围	25
3.4.2 环境管理	25
3.5 污泥消化新技术	25
第四章 污泥发酵技术.....	26
4.1 好氧发酵基本流程及产污环节	26
4.2 好氧发酵工艺及能耗和污染物排放.....	26
4.2.1 污泥好氧发酵工艺.....	26
4.2.2 能耗及主要污染物.....	29
4.3 确定 BAT 时需考虑的内容.....	30
4.3.1 污泥发酵技术	30
4.3.2 臭气污染控制技术.....	32
4.3.3 废水污染控制技术.....	33
4.3.4 发酵中重金属的控制.....	33
4.5 污泥发酵可行技术	33
4.5.1 可行技术	33
4.5.2 环境管理	34
4.6 污泥发酵新技术	35
第五章 污泥土地利用技术.....	36
5.1 污泥土地利用工艺流程及产污环节	36
5.2 污泥土地利用方式及消耗和污染物排放	36
5.2.1 污泥土地利用方式.....	36
5.2.2 能耗及污染物排放.....	36
5.3 确定 BAT 时需考虑的内容.....	38
5.3.1 污泥的运输与贮存.....	38
5.3.2 污泥施用方法	38
5.3.3 污染物限值	39

5.3.4 减少病原菌	40
5.4 污泥土地利用可行技术	40
5.4.1 污泥土地利用指标要求	40
5.4.2 环境管理	41
5.5 污泥土地利用新技术	41
第六章 污泥焚烧技术	42
6.1 污泥焚烧工艺流程与产污环节	42
6.2 污泥焚烧工艺及消耗和污染物排放	42
6.2.1 污泥焚烧工艺	42
6.2.2 排放和消耗水平	42
6.3 确定 BAT 时需考虑的内容	44
6.3.1 干化技术	44
6.3.2 焚烧技术	45
6.3.3 烟气净化技术	46
6.3.4 飞灰处理技术	50
6.4 污泥焚烧可行技术	50
6.4.1 可行技术	50
6.4.2 环境管理	51
6.5 污泥焚烧新技术	52
6.5.1 与生活垃圾(MSW)混合焚烧	52
6.5.2 利用现有工业用炉焚烧污泥	52
6.5.3 火电厂混合焚烧发电工艺	52
6.5.4 喷雾干燥 + 回转式焚烧炉	53
第七章 污泥处理处置最佳可行技术选择	53
7.1 污泥处理、处置最佳可行技术选择原则	53
7.2 污泥处理最佳可行技术	54
7.2.1 污泥消化最佳可行技术	54
7.2.2 污泥发酵最佳可行技术	58
7.3 污泥处置最佳可行技术	61
7.3.1 污泥土地利用最佳可行技术	61
7.3.2 污泥焚烧最佳可行技术	64
第八章 结论说明和建议	67

前 言

为进一步增强环境管理决策的科学性，提升环境保护技术和产业在环境保护工作中的保障作用，有效提高污水处理厂污泥处理处置率，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国固体废物污染防治法》和《中华人民共和国大气污染防治法》以及污染物排放控制标准，为防止污水处理厂产生污泥造成的二次污染，进一步强化污水处理厂解决污泥处理处置技术和环境要求制定本导则。本导则可为污水处理厂污泥处理处置项目环境影响评价、工程设计、施工、验收、运营管理等环境管理的技术依据，是各级环境保护部门、设计施工单位以及用户的技术指导性的参考文件。

本导则为首次发布。按照有关法律规定，本导则为指导性技术参考文件。若被相关法律或标准引用，则具有法律效应。

本导则由国家环境保护部科技标准司提出。

本导则主要起草单位：北京市环境保护科学研究院

参与单位：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

本导则由国家环境保护部 20□□年□□月□□日批准。

本导则自 20□□年□□月□□日起实施。

本导则由国家环境保护部解释。

1、最佳可行技术(BAT)的定义及作用

导则制定的宗旨是通过选择有效的、可行的技术和污染防治途径，进行污泥处理、处置，并控制和消减污泥处理、处置过程中可能产生的环境污染，从而实行有效的环境管理，达到消除污染、保护环境的目的。导则的核心是要求设施的运营者通过选择可以真正实现污泥的减量化、稳定化、无害化的技术，并在此前提下采取适当的措施防止污泥处理处置过程中的污染或二次污染问题，在“安全、环保”的原则下实现污泥的处理处置。导则通过选择最佳可行技术，结合倡导污泥最佳环境管理实践，提高设计者、运营者和管理者综合技术水平。

“最佳可行技术”实践代表针对各种生产活动、工艺过程产生的各种环境污染问题，在经济和技术可行的条件下，采用在公共基础设施和工业部门得到应用的最有效、先进、可行的污染防治工艺和技术减少污染物的排放，特别是通过生产过程的清洁生产管理措施预防、减少污染物的跑、冒、滴、漏造成的污染，从整体上减少对环境的影响。

最佳可行技术为制定排放限值提供了基础，代表了污染防治技术、工艺和相关运行、维护管理等发展的最新阶段，它表明了某种特定技术在满足排放法规、限值基础上的适用性，或者当无法满足排放限值时，又无其他指定技术的情况下，采用此种技术可以使向整个环境中的排放量达到最小。

“技术”：最佳可行技术中技术的含义是指的广义技术，其包括各类污染防治设施的设计、建造、运行管理、维修、操作和拆除等环节涉及的技术、工艺、设备，同时也包括相关的运行管理技术。

“可行技术”：指在经济和技术许可的条件下，同时考虑成本和效益，已经在我国相关公共基础设施和工业领域中得到一定规模应用的技术和管理方法。对于新的、特定的污染防治技术，至少已通过工业性工程示范验证，证明其技术可行性、经济合理。

“最佳”：指与我国在一定时期的技术、经济发展水平和环境管理要求相适应，综合和整体地考虑环境保护的前提下，通过技术和管理措施使污染防治设施能够实现处理设施的达标排放，同时达到高水平的整体的环境保护效果。

最佳可行技术的作用：

- (1) 在技术上提供指导，污泥处理、处置环境保护滞后于污水处理厂规划和建设，为转变与污水处理厂同步规划、同时设计、同时施工、同时投产提供技术上有效的、经济上可行的技术指导参考文件；
- (2) 分类参考，针对现有源及新源对技术的不同要求，提供不同的最佳可行技术参考；
- (3) 从重视污水处理轻污泥处理处置转变为污水处理和污泥处理处置并重，加强对污泥处理处置的管理；为标准制/修订提供依据，根据最佳可行技术治理达标效

果，制/修订有关环境标准；

- (4) 为鼓励采用能实现节能减排、循环利用的污泥处理处置最佳可行技术提供技术支持。

2、BAT 的确定原则

(1) 体现污泥处理处置全过程管理

体现全过程管理的原则，从源头上加以控制，以预防作为主要手段对污泥进行减量化、稳定化、无害化处理处置。通过污水处理厂内预处理及辅助设施的最佳环境管理实践要求，到污泥的最终处理处置最佳可行技术，从而实施有效的环境监督管理。

(2) 污泥处理处置遵循“减量化、稳定化、无害化”的原则

为了便于污泥的运输、存储及后续的处置、利用，污泥必须实现减量化、稳定化和无害化。污泥的这个处理处置原则将一直贯穿整个导则的编制，也是污泥处理处置的目的和实现方向。污泥处理处置最佳可行技术的选择均围绕这个大的原则进行展开。

(3) 污泥处理处置应体现节能减排和循环经济的原则

根据国务院颁布的《国家环境保护“十一五”规划》以及《节能减排综合性工作方案》的指导思想和方针，污泥处理处置技术的选择和管理也应全面体现节能减排的思想。

(4) 在安全、环保的前提下，实现污泥的资源化

污泥处理处置的最终目标是实现无害化，在“安全、环保”的前提下实现污泥的综合利用，即污泥的资源化利用不以潜在的或二次环境污染为代价。

3、适用范围

本导则中的污泥是指在污水净化处理过程中产生的含水率不同的废弃物，不包括栅渣、浮渣和沉砂池沙砾。与污水性质类似的污水处理过程产生的污泥处理处置可参照执行。经鉴定为危险废物的污泥执行危险废物相关规定，不适用本导则。

本导则在于帮助污泥处理处置管理、使用人员在处理处置污泥时能够选用最佳可行技术(BAT)，同时为环境保护相关管理部门在环境影响评价、工程设计、工程施工以及竣工验收等提供技术依据。

(1) 规划阶段

本导则为规划管理和制定部门提供依据，根据“污泥在污水处理厂内处理与厂外集中处理处置相结合，采用实用可行技术实现目标安全处置”的方针，对污泥处理处置统筹规划，全面考虑，为污泥处理处置规划、选址和技术路线的确定提供依据。

(2) 立项审批阶段

本导则通过对污泥处理处置过程中污泥减容、减量及无害化过程，分析可能产生的水、气、声、固废等环境污染问题，为污泥处理处置实施单位和环境管理部门在环境影响评价报告编制、审批等方面提供技术依据，选择适合的污泥处理处置最佳可行技术，

同时为项目其它审批部门提供切实可行的审批依据。

(3) 设计施工阶段

本导则为污泥设计单位和施工单位提供相应的技术参数选择，选择可以真正实现污泥的减量化、稳定化、无害化，并对环境影响较小的污泥安全处置技术。

(4) 运营管理阶段

本导则通过对污泥计量、稳定化的考核以及设备要求，为污泥处理处置竣工验收的相关管理部门提供验收参考，督促污泥运营方在污泥运营管理时实现污泥处理处置最佳的环境管理。

第一章 概述

1.1 污泥的特性及危害

1.1.1 污泥的特性

1、污泥分类

污水处理厂产生的污泥基本上可以按照其性质或处理方法分成几类，按污泥的性质污泥可以分为以有机物为主的污泥和以无机物为主的沉渣。在本导则中主要是按污泥处理工艺将污泥分为初沉污泥、剩余污泥、消化污泥和化学污泥。

- (1) 初沉污泥(Primary sludge)：指一级处理过程中产生的污泥，也就是在初沉池中沉淀下来的污泥。含水率一般为 96~98%。
- (2) 剩余污泥(Surplus sludge)：指在生化处理工艺等二级处理过程中排放的污泥，含水率一般为 99.2%以上。
- (3) 消化污泥(Digested sludge)：指初沉污泥、剩余污泥经消化处理后达到稳定化、无害化的污泥，其中的有机物大部分被消化分解，因而不易腐败，同时污泥中的寄生虫卵和病原微生物被杀灭。
- (4) 化学污泥(Chemical sludge)是指絮凝沉淀和化学深度处理过程中产生的污泥，如石灰法除磷、酸、碱废水中和以及电解法等产生的沉淀物。

2、污泥的特性

一般污水处理厂产生的污泥为含水量在 75~99%不等的固体或流体状物质。其中的固体成分主要由有机残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体及絮凝所用药剂等组成，是一种以有机成分为主，组分复杂的混合物，其中包含有潜在利用价值的有机质、氮(N)、磷(P)、钾(K)和各种微量元素。

表 1-1 不同种类的污泥营养物质含量范围(%)

污泥类型	总氮(TN)	磷(P ₂ O ₅)	钾(K)	腐殖质
初沉污泥	2.0~3.4	1.0~3.0	0.1~0.3	33
生物滤池污泥	2.8~3.1	1.0~2.0	0.11~0.8	47
活性污泥	3.5~7.2	3.3~5.0	0.2~0.4	41

表 1-2 污泥燃烧热值表

污泥种类		燃烧热值/ kJ/kg(污泥干重)	污泥种类		燃烧热值/ kJ/kg(污泥干重)
初沉污泥	生污泥	15000~18000	初沉污泥与活性污泥混合	新鲜	17000
	经消化	7200		经消化	7400
初沉污泥与生物膜污泥混合	生污泥	14000	生污泥		14900~15200
	经消化	6700~8100	剩余污泥		13300~24000

(1) 物理特性

污泥组成为水中悬浮固体经不同方式胶结凝聚而成，结构松散，形状不规则，比表面积与孔隙率极高(孔隙率常大于 99%)，含水量高，脱水性差。外观上具有类似绒毛的分支与网状结构。

(2) 化学特性

生物污泥以微生物为主体，同时包括混入生活污水泥沙、纤维、动植物残体等固体颗粒以及可能吸附的有机物、金属、病菌、虫卵等物质。污泥中也含有植物生长发育所需的氮、磷、钾及维持植物正常生长发育的多种微量元素和能改良土壤结构的有机质。

(3) 污泥中水分的存在形式及其性质

污泥中的水分有四种形态：表面吸附水、间隙水、毛细结合水和内部结合水。毛细结合水又分为裂隙水、空隙水和楔形水。

表面张力作用吸附的水分为表面吸附水。间隙水一般要占污泥中总含水量的 65%~85%，这部分水是污泥浓缩的主要对象。毛细结合水：浓缩作用不能将毛细结合水分离，分离毛细结合水需要有较高的机械作用力和能量，如真空过滤、压力过滤、离心分离和挤压可去除这部分水分。各类毛细结合水约占污泥中总含水量的 15%~25%。内部结合水：指包含在污泥中微生物细胞体内的水分，含量多少与污泥中微生物细胞体所占的比例有关。去除这部分水分必须破坏细胞膜，使细胞液渗出，由内部结合水变为外部液体。内部结合水一般只占污泥中总含水量的 10%左右。

1.1.2 污泥对环境的危害

污泥有机物含量高、易腐烂，有强烈的臭味，并且含有寄生虫卵、病原微生物和铜、锌、铬、汞等重金属以及盐类、多氯联苯、二噁英、放射性核素等难降解的有毒有害物质，如不加以妥善处理，任意排放，将会造成二次污染。

1、有机物污染

污泥中有机污染物主要有苯、氯酚、多氯联苯(PCBs)、多氯二苯并呋喃和多氯二苯并二噁英 (PCDD/F)等。污泥中含有的有机污染物不易降解、毒性残留长，这些有毒有害物质进入水体与土壤中将造成环境污染。

2、病原微生物污染

污水中的病原微生物和寄生虫卵经过处理会进入污泥，污泥中病原体对人类或动物的污染途径包括：① 直接与污泥接触；② 通过食物链与污泥直接接触；③ 水源被病原体污染；④ 病原体首先污染了土壤，然后污染水体。

3、重金属污染

在污水处理过程中，70%~90%的重金属元素会通过吸附或沉淀而转移到污泥中。一些重金属元素主要来源于工业排放的废水如镉、铬；另外，还有的重金属来源于家庭生活的管道系统如铜、锌等。

4、其它危害

污泥对环境的二次污染还包括污泥盐份的污染和氮、磷等养分的污染。污泥盐分含盐量较高，会明显提高土壤电导率，破坏植物养分平衡，抑制植物对养分的吸收，甚至对植物根系造成直接的伤害；在降雨量较大地区且土质疏松土地上大量施用富含氮、磷等的污泥之后，当有机物的分解速度大于植物对氮、磷的吸收速度时，氮、磷等养分就有可能随水流失而进入地表水体造成水体的富营养化，进入地下引起地下水的污染。

1.2 污泥处理处置工艺

一般而言，在污水处理厂内污泥经过预处理(浓缩、脱水及相关辅助设施)后，在厂内(或厂外)根据后续处置的不同，采用不同的处理方式，主要处置污泥的方式有土地利用、焚烧等。

1.2.1 污泥处理过程涉及的污染问题

污泥预处理技术主要有浓缩、脱水及相关辅助设施管理。污泥处理技术主要有消化、发酵。污泥处理工艺见图 1-1。

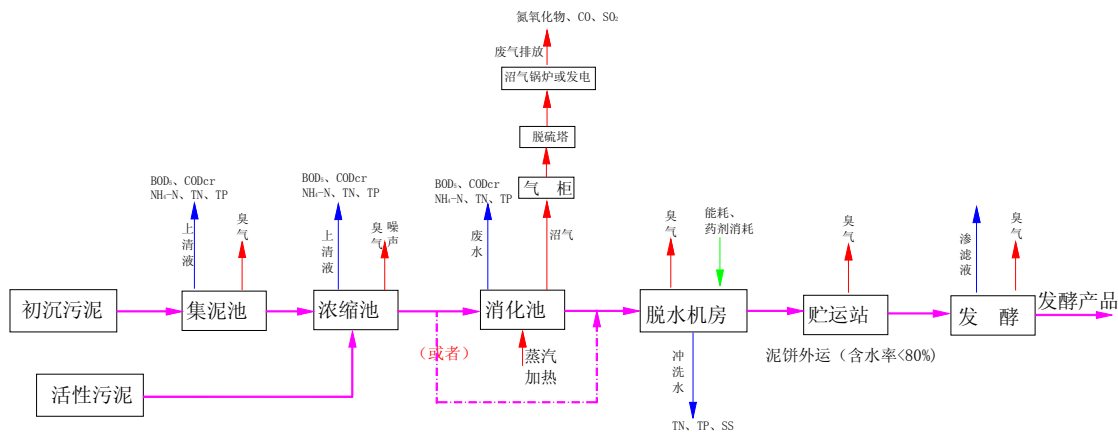


图 1-1 污水处理厂污泥处理工艺及产污示意图

1、集泥池及浓缩池

污水处理厂设有初沉池时，间歇排泥需要设污泥集泥池。集泥池暂时将来不急浓缩脱水或消化处理的污泥存储起来。

污泥浓缩的目的是使污泥初步脱水，缩小污泥体积，为后续处理创造条件，主要有重力浓缩、气浮浓缩、离心浓缩、带式浓缩和转鼓机械浓缩等方式。重力浓缩可以分为间歇式和连续式两种。间歇式重力浓缩主要用于小型污水处理厂，连续式重力浓缩主要用于大、中型污水处理厂。经浓缩脱水后污泥含水率为 95~97%，经浓缩后的污泥一般进入消化池或脱水机房，进行后续处理。

潜在的环境问题：集泥池的污泥主要来自初沉污泥，目前多数污水处理厂集泥池均为敞开式，恶臭浓度和其它大气污染物浓度(氨气、甲烷、硫化氢等)比较高。

表 1-3 污泥中几种常见的臭气成份

化合物	典型分子式	特性
胺类	$\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2\text{N}$	鱼腥味
氨	NH_3	氨味
二胺	$\text{NH}_2(\text{CH}_3)_4\text{NH}_2\text{NH}_2(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2$	腐肉味
硫化氢	H_2S	臭鸡蛋味
硫醇	$\text{CH}_3\text{SHCH}_3\text{SSCH}_3$	烂洋葱味
粪臭素	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCH}_3$	粪便味

污泥浓缩运行中排放的污染物是浓缩过程中产生的上清液、恶臭等，污泥浓缩产生的上清液由于在缺氧环境中停留时间过长而释放大量的磷和氮，从而直接影响进水氮、磷的浓度。为降低上清液对污水处理厂水质的影响，需对这部分污水进行单独脱氮除磷处理。

2、污泥脱水

污泥脱水主要指机械脱水，污泥机械脱水主要包括：真空过滤脱水、压滤脱水、离心脱水。污泥经脱水后其体积减至浓缩前的 1/10，脱水前的 1/5，大大降低了后续污泥处理、处置的难度。一般大中型污水处理厂均采用机械脱水。

潜在的环境问题：污泥经脱水有上清液(滤液)产生以及处理设备清洗时会使用清水或再生水而有污水产生；污泥脱水机房恶臭浓度较高，对从业人员影响较大。污水处理厂常规监测的指标有硫化氢、氨和恶臭等。

污泥脱水设备，特别是高速离心设备在运转时产生的噪声也是一大污染源，噪声在 70~110dB(A)。污泥脱水常须对污泥进行调质，脱水过程涉及的能耗主要有混凝剂、冲洗水以及电能的消耗等。

3、污泥消化

污泥消化是污泥稳定化工艺的一种，污泥消化是借助微生物的代谢作用，使污泥中

有机物质分解成稳定的物质，去除臭味，杀死寄生虫卵，减少污泥体积。可分为厌氧消化和好氧消化。厌氧消化是目前国际上最为常用的污泥生物处理方法，同时也是大型污水处理厂最为经济的污泥处理方法。好氧消化应用范围较窄，耗能较大。

潜在的环境和安全问题：污泥厌氧消化主要排放的污染物为臭气、上清液、消化污泥、燃烧废气或发电排放烟气等。污泥厌氧消化产生的沼气主要成分为甲烷(含量为60%~65%)、二氧化碳、硫化氢、水分等，需要对沼气进行脱硫、脱水处理。当空气中甲烷含量在5~15%时，就形成一种易爆炸的混合气体， H_2S 气体具有毒性，所以需注意沼气安全问题。

沼气发电机燃烧排放烟气主要污染物为 CO 和 NO_x 。厌氧消化后产生的废水一般返回初沉池与污水一同进行处理，不外排，但是消化液氮、磷，特别是氨氮浓度较高时，会增加进水负荷；污泥厌氧消化排放的污染物必须关注的是气体污染物，如恶臭、沼气中的 H_2S 等。

4、污泥发酵

发酵也是污泥稳定化工艺的一种，包括好氧发酵和厌氧发酵，但通常指好氧发酵。好氧发酵是利用污泥中的好氧微生物进行好氧发酵的过程，使有机物转化为类腐殖质。发酵的环境条件是适当的含水率、氧气、温度和碳氮比。污泥好氧发酵的通气供氧方法常采用强制通风或定期翻堆来完成。

潜在的环境问题：发酵过程主要的污染物是由于供氧不均匀或强制通风带出的不充分发酵伴生物产生的恶臭气体、氨、硫化氢、甲基硫醇、胺类等。如果是露天发酵场(厂)，会有渗滤液产生。渗滤液污染物主要有 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、总氮、总磷、病原菌等，污染物和垃圾渗滤液污染物相似。

污泥好氧发酵成套设备中有噪声产生，噪声值范围：70~85dB(A)。污泥发酵过程中会有粉尘产生。污泥经发酵后产生含水率较低的出料，可能会在造粒机、气流干燥机出现少量的粉尘。

1.2.2 污泥处置技术

以自然或人工方式使经处理后的污泥或污泥产品能够达到长期稳定并对生态环境无不良影响的最最终消纳方式为污泥处置。本导则主要包括土地利用和焚烧。

1、土地利用

污泥土地利用工艺及产污见图 1-2。

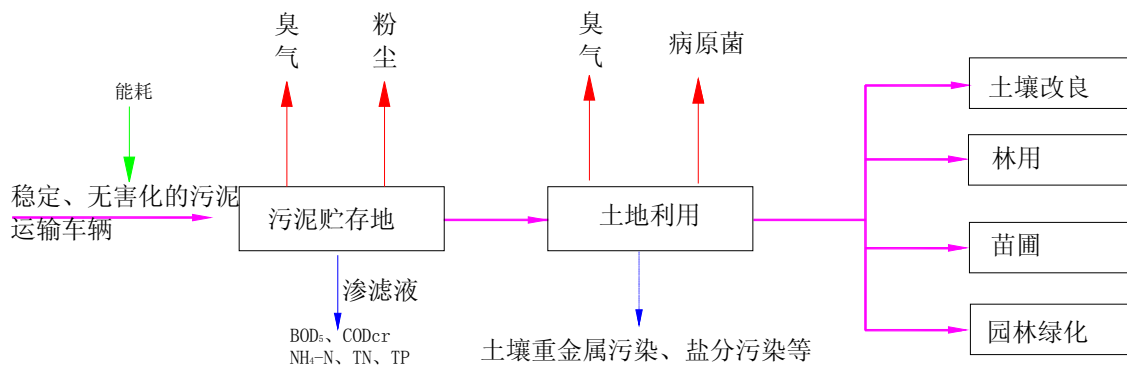


图 1-2 污水处理厂污泥土地利用工艺及产污示意图

污泥土地利用是指将经处理后的污泥或污泥产品用于土地作为肥料或土壤改良材料，污泥土地利用可以有效利用污泥中丰富的有机物和 N、P、K 等营养元素以及植物生长必需的各种微量元素 Ca、Mg、Zn、Cu、Fe 等，施用于土地能够改良土壤结构、增加土壤肥力、促进植物的生长。主要有用于园林、绿地、林业、土壤修复及改良等。在本导则中明确规定污泥土地利用部分不包括农用。

潜在的环境问题：污泥土地利用排放的污染物在一定程度上取决于施用污泥的成分和施用方式，同时与污泥土地利用施用的频率、污泥施用量以及污泥施用场地的土壤背景值有关。

污泥土地利用对大气和水体的环境影响主要是病原菌污染、恶臭污染、盐分以及氮、磷等养分对水体的污染、多氯联苯、二噁英、放射性元素等难降解的有毒有害物和重金属(铜、铝、锌、铬、汞等)对土壤和水体的污染。

2、焚烧

污泥焚烧是指在一定温度、气相充分有氧的条件下，依靠污泥自身的热值或辅助燃料，使其中的有机物质发生燃烧反应，反应的结果使有机质转化为 CO_2 、 H_2O 、 N_2 等相应的气相物质。焚烧的目的主要是最大化的降低污泥体积和危害，并尽可能回收污泥中贮藏的能量，反应过程中释放的热量则维持反应的温度条件，使处理过程能持续地进行。目前，污泥焚烧主要包括单独焚烧和混合焚烧。污泥焚烧工艺及产污见图 1-3。

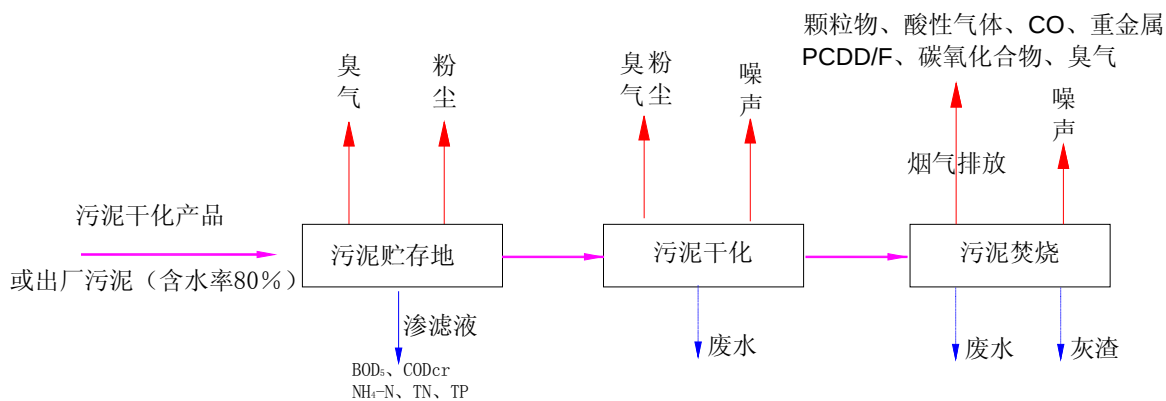


图 1-3 污泥焚烧工艺及产污示意图

潜在的环境问题：污泥焚烧有大量的烟气产生，每吨污泥产生的烟气体积(O_2 , 11%)一般在 $4500\sim6000m^3$ ，其组成为颗粒物质、酸性和其他性质的气体(包括 HCl 、 HF 、 HBr 、 HI 、 SO_2 、 NO_x 、 NH_3)、重金属(包括 Hg 、 Cd 、 Tl 、 As 、 Ni 、 Pb 等)、含碳化合物(包括 CO 、碳氢化合物(VOCs)、PCDD/F、PCB 等)、臭气等。

污泥焚烧厂产生的废水通常包括湿式或半湿式烟气净化装置产生的废水、锅炉排水、湿式冷却装置产生的冷却水、道路和其他路面冲洗水和雨水、进厂脱水污泥贮存及转运区产生的渗滤液和污泥水、灰渣处理和贮存产生的各种废水。这些废水多数含有很高浓度的盐、重金属和有机物。

污泥焚烧厂产生的固体残留物主要有三类：一类是直接由焚烧炉产生的飞灰和灰渣；一类是由烟气处理设施产生的残留物，一类是由废水处理过程中产生的污泥等。

噪声源主要包括：污泥运输和卸载噪声，机械预处理(如破碎、输送等)噪声，抽风机设备噪声、冷却系统噪声、涡轮产生的噪声、恶臭和烟气处理设备噪声，固体残留物的处理等设备产生的噪声。

第二章 污泥预处理及辅助设施管理

2.1 污水预处理工艺流程及产污环节

污水处理厂污泥预处理的目的是降低污泥含水率，减少污泥体积，以利于后续处理与处置。污泥预处理系统主要针对污水处理系统初沉池、二沉池的污泥存储、浓缩、脱水和输送。涉及集泥池、浓缩池和污泥脱水系统等环节和过程的设备、构筑物和相关辅助建筑物。

污水处理系统产生的污泥包括初沉池污泥、二沉池污泥，除部分二沉池污泥回流至污水处理系统外，初沉污泥以及剩余污泥排入集泥池，集泥池污泥再提升至污泥浓缩池或浓缩设备。一般来说，规模较大的污水处理厂产生的污泥在浓缩后进入消化池消化稳定，消化后机械脱水。浓缩或消化后的污泥进行机械脱水，脱水污泥存储在堆放间，定期外运处理处置。由于污泥消化过程主要为污泥稳定化过程，因此本章预处理不包括污泥消化。污泥预处理工艺及产污见图 2-1。

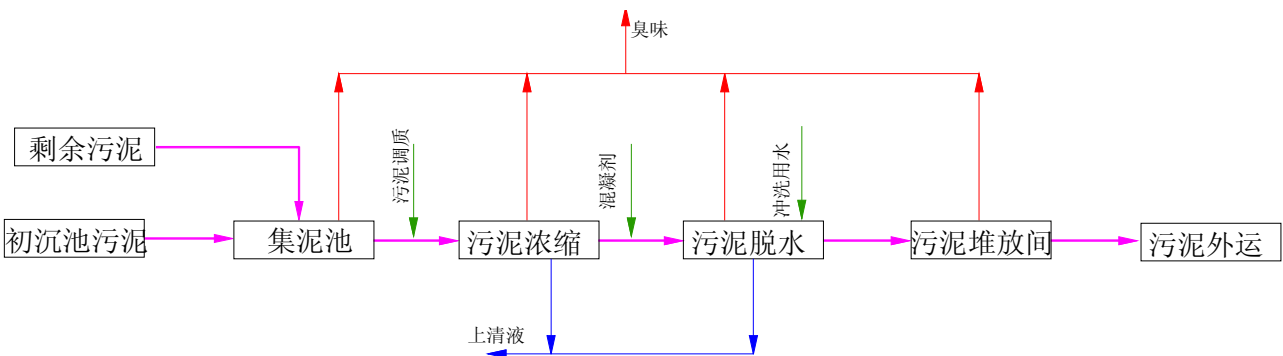


图 2-1 污泥预处理工艺及产污示意图

污泥预处理过程主要的环境污染有臭味和设备噪音，污泥浓缩、脱水过程排放上的清液、滤液(包括冲洗水)以及脱水后的污泥。预处理过程其它物耗主要有电耗和水耗。

2.2 污泥产生及计量

污水处理厂的污泥产生量和计量是污泥处理处置的管理的基础，本导则对污泥产生量和计量方法作了相应规定。

2.2.1 污泥处理产生量和计量

1、各工艺段污泥产量

- (1) 预处理工艺的污泥产量(包括初沉池、水解池、AB 法 A 段和化学强化一级处理工艺等):

$$\Delta X_1 = a \cdot Q(SS_i - SS_o) \quad (2-1)$$

式中: ΔX_1 : 预处理污泥产生量, kg/d;

SS_i 和 SS_o 分别为进出水悬浮物浓度, kg/m^3 ;

Q : 设计平均日污水流量, m^3/d ;

a : 系数, 无量纲, 初沉池 $a=0.8\sim1.0$, 排泥间隔较长时, 取下限;

AB 法 A 段 $a=1.0\sim1.2$;

水解工艺 $a=0.5\sim0.8$;

化学强化一级处理和深度处理工艺根据投药量: $a=1.5\sim2.0$ 。

- (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:

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

式中: ΔX_2 : 剩余活性污泥量(kg/d);

f : MLVSS/MLSS 之比值。对于生活污水, 一般在 $0.5\sim0.75$;

$L_r = L_a - L_e$: 有机物浓度降解量($\text{kgBOD}_5/\text{m}^3$), L_a 、 L_e 分别为曝气池进水, 出水有机物(BOD_5)浓度(kg/m^3);

V : 曝气池容积(m^3);

X_v : 为混合液挥发性污泥浓度(kg/m^3);

a : 污泥产生率系数(kg 挥发性悬浮固体/ kgBOD_5), 一般可取 $0.5\sim0.65$;

b : 污泥自身氧化率(kg/d), 一般可取 $0.05\sim0.1$;

- (3) 不带预处理系统的活性污泥法及其变型工艺剩余污泥产生量:

$$\Delta X_3 = YQ(S_o - S_e) - K_d V X_v + fQ(SS_o - SS_e) \quad (2-3)$$

式中: ΔX_3 : 剩余活性污泥量, kg/d ;

Y : 污泥产率系数, kgVSS/kgBOD_5 , 20°C 时为 $0.3\sim 0.6$;

S_0 : 生物反应池内进水五日生化需氧量, kg/m^3 ;

S_e : 生物反应池内出水五日生化需氧量, kg/m^3 ;

K_d : 衰减系数, d^{-1} , 一般可取 $0.05\sim 0.1$;

V : 生物反应池容积, m^3 ;

X_v : 生物反应池内混合液挥发性悬浮固体平均浓度, kgMLVSS/m^3 ;

f : 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 $0.5\sim 0.7\text{gMLSS/gSS}$, 带预处理系统的取下限, 不带预处理系统的取上限;

2、污泥总产量

(1) 带有预处理的好氧生物处理工艺

一般指带有初沉池、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, 其总污泥产生量计算公式如下:

$$W_1 = \Delta X_1 + \Delta X_2 \quad (2-4)$$

式中: W_1 : 污泥总产生量, kg/d ;

ΔX_1 : 预处理污泥产生量, kg/d ;

ΔX_2 : 剩余活性污泥量, kg/d ;

(2) 不带预处理的好氧生物处理工艺

一般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, 其总污泥产生量计算公式如下:

$$W_3 = \Delta X_3 \quad (2-5)$$

式中: W_3 : 污泥总产生量, kg/d ;

ΔX_3 : 剩余活性污泥量, kg/d ;

(3) 消化工艺

一般指污水处理厂就地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:

$$W_2 = W_1 \cdot (1 - \eta) \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \quad (2-6)$$

式中: W_2 : 消化后污泥总量, kg/d ;

W_1 : 原污泥总量, kg/d ;

η : 污泥挥发性有机固体降解率, $\eta = \frac{q \times k}{0.35(W \times f_1)} \times 100\%$ (q , 实际沼气产生

量, m^3/h ; k , 沼气中甲烷含量百分比, %; W , 厌氧消化池进泥量, $\text{kgDSS}(\text{干污泥})/\text{h}$, f_1 , 进泥中挥发性有机物含量百分比)

f_1 : 原污泥中挥发性有机物含量百分比;

f_2 : 消化污泥中挥发性有机物含量百分比;

2.2.2 污泥的计量

污水处理厂应在污泥产生、贮存和处理各单元设置计量装置, 如初沉池、集泥池(或浓缩池)、污泥消化池、污泥脱水机房等。

1、初次沉淀池污泥计量

初次沉淀池(包括化学沉淀)不接收剩余活性污泥时, 污泥理论产量根据公式(2-1)计算。当间歇排泥时, 可通过人工或仪表测定泥位变化的方式, 采用容积法计量。计量装置或仪表设在集泥池或浓缩池中。初沉池每日排泥量计算公式:

$$V_1 = S \sum_{i=1}^n (h_{f,i} - h_{a,i}) - Q_i t_i \quad (2-7)$$

式中: V_1 : 初沉池每日排泥量, m^3/d ;

n : 每日排泥次数, $n=24/T$, T , 排泥周期;

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, m^3/h ;

t_i : 初沉池排泥时间, h 。

2、剩余活性污泥计量

设初沉池的污水处理厂, 剩余活性污泥理论产量根据公式(2-2)计算。剩余活性污泥连续排放时, 宜通过设置流量计的方式进行计量, 流量计设在剩余污泥压出管道上; 生物膜法二沉池污泥间歇排出时, 应通过人工或仪表测定泥位变化的方式, 采用容积法计量, 装置或仪表设在集泥池或浓缩池。

不设初沉池的污水处理厂, 剩余活性污泥理论产量可根据公式(2-3)计算。剩余污泥连续排放时, 宜通过设置流量计方式进行计量。流量计设在剩余污泥压出管道上。剩余污泥每日排放量计算公式:

$$V_s = Q_p t \quad (2-8)$$

式中: V_s , 剩余污泥排放量, m^3 ; Q_p , 污泥提升泵流量, m^3/h ; t , 排泥时间, h 。

3、消化池污泥计量

厌氧消化池进、出泥量和沼气产量需设置计量装置或仪表。理论进泥量为初沉污泥和剩余活性污泥之和, 采用公式(2-4)进行计算。连续进泥时, 宜采用流量计计量, 进泥

装置宜选用柱塞泵或螺杆泵，并记录累计流量(Q_a)。采用投配池间歇进泥时，宜采用容积式计量，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。

消化池出泥量须计量。连续出泥时，宜采用流量计计量，流量计设置在靠近消化池的污泥输送管线上；间歇出泥时，宜采用容积式计量，计量装置设在后续的集泥池中，记录每次出泥前后集泥池中污泥液位高度和每日出泥次数。

污泥消化池产生的沼气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。

4、其它要求

污水处理厂污泥机械脱水进泥宜采用螺杆计量泵输送，絮凝剂宜采用加药计量泵投加。出厂脱水污泥可通过重量法进行计量，计量装置宜采用地衡。污水处理厂应为出厂污泥计量建立完善的记录制度。

污水处理厂污泥总出口应记录污泥输出车次、重量、取样测定含水率，并采用台账制，将记录结果分交污水处理厂、相关环境行政管理部门和污泥处理处置单位。

2.3 污水预处理工艺介绍

2.3.1 污泥浓缩

污泥预处理主要针对初沉池和二沉池污泥，进入污泥浓缩池的污泥含水率一般按下列数据采用：

初次沉淀池污泥 95~97%，生物滤池后二次沉淀池污泥 97%，曝气池后二次沉淀池活性污泥 99.2%~99.6%。消化池污泥 97%；

污泥浓缩的方法通常有：重力浓缩，机械浓缩、气浮浓缩三种。机械浓缩有离心浓缩机浓缩、带式浓缩机浓缩、转鼓浓缩机浓缩和螺压浓缩机浓缩。污泥浓缩工艺的选择主要取决于产生污泥的污水处理工艺、污泥的性质、污泥量和需要达到的含固率要求。

目前，国内重力浓缩占 71.5%，机械浓缩和气浮浓缩各占 21.4%和 7.1%。常用的重力浓缩池由于污泥在重力浓缩池停留时间长，一般大于 12h，浓缩池中形成厌氧环境，富磷污泥在浓缩中释磷现象严重，一般只适合没有脱氮除磷要求的污水处理厂。有脱氮除磷要求的污水处理厂采用机械浓缩。

2.3.2 污泥脱水

污泥脱水有自然干化脱水、热干化脱水以及机械脱水。本导则污泥脱水指机械脱水。

脱水主要是将污泥中的吸附水和毛细水分离出来。污泥脱水主要为机械脱水，首先通过污泥调质后降低污泥的亲水力，再利用滤带的挤压、污泥的压榨、高速离心力和螺杆挤压来脱除水分。大中型污水处理厂均采用机械脱水。污泥脱水按脱水原理可分为真空过滤脱水、压滤脱水及离心脱水三大类。国内污水处理厂常用的有压滤机(包括带式压滤机及板框式压滤机)和离心式脱水机。

采用机械脱水可以获得 15~25%的含固率，所形成的污泥被称为泥饼。

2.4 污泥预处理工艺物料及能源消耗

2.4.1 药剂消耗

常用的化学调理剂分无机混凝剂和有机絮凝剂两大类。无机混凝剂一般适用于真空过滤和板框过滤，而有机絮凝剂则适用于离心脱水和带式压滤机。无机调理剂用量较大，一般均为污泥干固体重量的 5~20%。若用三氯化铁作为调理剂，当污泥滤饼焚烧时会腐蚀设备。与无机调理剂相比，有机调理剂用量较少，一般为 0.1~0.5%(干重)，无腐蚀性。从价格角度考虑，无机混凝剂的价格普遍比有机絮凝剂便宜。在污泥调质常采用阳离子型聚丙烯酰胺（PAM）。

表 2-1 几种污泥混凝剂的参考价格(2007 年)

序号	混凝剂类型	单价(元/kg)	用量 t/t(DS)
1	氯化铁	3.6~4.0	5~20%
2	三氯化铝(无水)	7.0	5~20%
3	聚合氯化铝(PAC)	1.4~1.7	5~20%
4	阳离子聚丙烯酰胺(PAM)	30.0	0.1~0.5%
5	阴离子聚丙烯酰胺(PAM)	20.0	0.1~0.5%

2.4.2 能源消耗

一般而言，重力浓缩能耗较低，在 10kW.h/tDS 以下；带式浓缩机、转鼓浓缩机、螺压浓缩机能耗相差不大，均在 50~150kW.h/tDS 左右；离心浓缩设备能耗最高，比能耗在 200~300kW.h/tDS 左右。

污泥脱水段能源消耗内容为其脱水机械主机设备以及冲洗水、药剂添加等驱动动力消耗。不同机械脱水设备的比能耗不同，从下表可知，带式压滤机的比能耗最低。

表 2-2 不同脱水工艺的能耗比较

脱水工艺	比能耗(kW.h/tDS)	药耗(kgPAM/DS)
板框压滤机	15~40	0.2~0.6
带式压滤机	5~20	0.3~0.5
离心脱水机	30~60	0.1~0.4

2.5 污泥预处理过程主要的污染物

2.5.1 上清液、冲洗水

污泥浓缩和脱水后会产生上清液，上清液和滤液体积大约是污水量的 0.3~1.0%。

污泥的浓缩、脱水过程(包括消化污泥)因为缺氧环境中停留时间过长而释放大量的 COD、氮、磷，从而直接影响出水氮、磷的达标排放。

污泥浓缩、脱水过程中排放的回流水总磷的最大浓度超过 100mg/L，这部分磷回流

至污水处理系统影响出水总磷的达标排放。污泥浓缩脱水后产生的上清液水质特征见表2-3。

表 2-3 污泥浓缩、脱水上清液和滤液水质特征 mg/L

水 样	检测项目		
	COD	氨氮	TP
污泥重力浓缩上清液	300~1000	0~300	10~20
污泥脱水滤液	100~450		30~40

2.5.2 预处理阶段恶臭排放

污泥预处理过程的臭气散发是充斥整个过程的，主要产生源为集泥池、浓缩池、污泥脱水机房以及污泥堆放场。无组织排放地点主要为污泥脱水机房与污泥堆放场(间)。下表为污水处理厂各处理构筑物的污染物污染情况数值。脱水机房臭味不宜散发，是污泥预处理过程臭气处理的重点区域。

表2-4 无组织排放污染物情况数值

处理构筑物	H ₂ S(mg/m ³)	NH ₃ (mg/m ³)	恶臭
污泥浓缩池	1~50	2~20	10~60
脱水机房	1~40	1~40	10~200

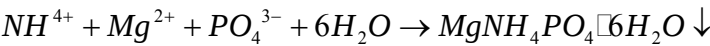
2.6 污染控制技术

2.6.1 上清液处理技术

针对污泥浓缩、脱水排放的滤液氨氮浓度高的问题，一般污水处理厂不进行处理，目前，生物脱氮除磷常采用硝化反硝化工艺。硝化反硝化工艺脱氮的基本原理是在好氧条件下通过硝化反应先将氨氮氧化为硝酸盐，再通过缺氧条件下(溶解氧不存在或浓度很低)的反硝化反应将硝酸盐异化还原成气态氮从水中除去。

除磷技术主要是化学除磷。化学除磷的主要原理是通过投加混凝剂产生可沉的磷酸盐沉淀经沉淀去除。通常除磷药剂采用铁盐、铝盐或钙作沉淀剂，药剂选用既要考虑到混凝沉淀效果又要兼顾经济性。

鸟粪石(磷酸铵镁，MAP)结晶沉淀可同时去除氮、磷。化学沉淀法脱氮除磷生成MAP的反应方程式见下式：



2.6.2 恶臭处理技术

针对产生臭气的污染源不同，除臭方法可分为物理除臭、化学除臭和生物除臭等几类。如吸附、吸收、焚烧、催化燃烧、化学氧化、生物处理等。生物除臭因具有简单、投资省、运行费用低、维护管理方便、效果好等优点而发展很快。生物脱臭简单、经济、高效，吸收率达 90% 以上；低投资，操作和维护费用低，运行、维护量最小；不产生二次污染。缺点是占地面积稍大；对温度、pH 值、湿度的要求较高；表面负荷过大会产生堵塞；对混合臭气需要不同菌种，需提供有效菌种。

工程实例:

深圳罗芳污水处理厂厌氧池除臭装置已投入试运转，运行正常，达到了预期除臭效果。设施设计处理气量 2 万 m³/h。系统主要包括臭气收集和处理两个系统。收集系统是在反应池顶加臭气收集罩，臭气经过收集后再用风管集中送至抽风机，最后进入臭气处理装置。该装置包括预洗池和生物滤池。预洗池主要功能是对臭气加湿，维持合适的湿度；生物滤池为模块拼装式，以木渣和树皮为主要填料。

经生物除臭后厂界臭气浓度保证 H₂S ≤ 0.06mg/m³，NH₃ ≤ 1.5mg/m³，恶臭浓度 < 20。处理效率为 90%，恶臭工程造价为 60 万元，运行费用为 60 元/天。

2.7 污泥预处理环境管理实践

2.7.1 工艺流程

- 1、污水处理厂污泥预处理工艺应根据污水处理工艺的要求，选择设立集泥池、浓缩池、污泥泵房、污泥脱水机房和污泥堆储场(间)等预处理设施。污泥预处理构筑物个数采用两个系列设计。
- 2、污水处理厂应在污泥产生、贮存和处理各单元（如初沉池、集泥池、浓缩池、污泥脱水机房等）均设置计量装置。
- 3、对采用生物除磷污水处理工艺产生的污泥，不宜设置集泥池，浓缩宜采用气浮浓缩或浓缩脱水一体机等浓缩方法。
- 4、从运行成本角度考虑，应加大对国外脱水设备如螺压脱水机、滚压脱水机等低能耗脱水设备的研究和开发应用。污泥脱水选择比能耗在 5~20 kW.h/tDS 以下的设备。

2.7.2 环境控制

- 1、污水处理厂污泥预处理阶段的集泥池、浓缩池、脱水机房、污泥泵房等排放源应达到《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)中的相关要求。
- 2、在污水处理厂位于敏感地区时，应从污水以及污泥的收集、转输及处理全过程着手，控制臭气污染。构筑物应密闭，敏感建筑物采用微负压设计，由抽风机抽风，并应满足空间的通风要求；局部恶臭源可设吸风口。收集到的恶臭气体由风机和风管输送至后续处理设施。污泥在污水处理厂预处理后应及时密闭运输或连接后续处理。
- 3、浓缩上清液、脱水滤液以及厌氧消化液等污泥处理过程中产生的废水应根据污水排放水质要求，进行单独处理。处理方法可考虑采用硝化反硝化工艺、化学除磷以及

鸟粪石结晶等方法。

4、污水处理厂噪声控制应达到《工业企业厂界噪声标准》(GB12348)的相关要求。为减小脱水机房设备噪声,应取消声、隔声、减震等措施,合理布置,使设备噪声满足区域内环境噪声要求,减少对周围环境的影响。

2.8 污泥脱水新技术

新污泥脱水设备主要有:全自动板框压滤机、螺旋压榨式脱水机、滚压式污泥脱水机。下表为调查三种类型脱水机类型结果。

表 2-6 三类新型脱水机运行参数

机器种类	泥饼水分(%)	比能耗(kW.h/tDS)	冲洗水量 m ³ /h	投资费用
螺旋压榨式脱水机	77%	12.8	少	高
滚压式污泥脱水机	60~75.5%	15.7	少	高
全自动板框压滤机	—	—	少	高

1、螺旋压榨式脱水机

螺旋压榨脱水机独有的特点是通过调节螺杆的旋转速度,可调节泥饼含固率与处理量。污泥含水率可降到 80%以下,污泥回收率在 95%以上。螺旋压榨式脱水机能耗比普通脱水机低,螺旋压榨式脱水机体积小占地面积少,结构简单采用自动化控制技术,与其它型式脱水机相比,操作容易,维护简单。该设备现在用于西安市污水处理厂,运行一年,运行结果稳定。

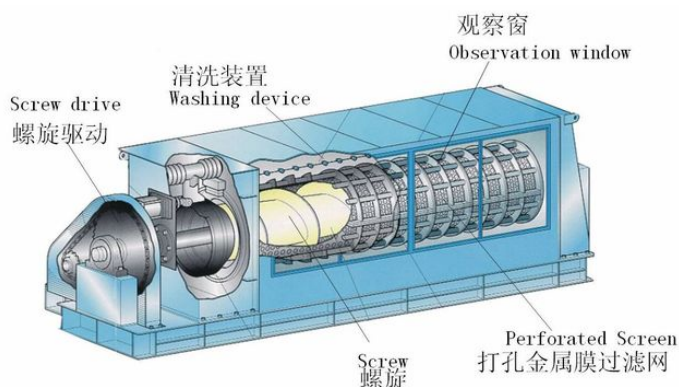


图 2-2 新型螺压脱水机

2、滚压式污泥脱水机

滚压式污泥脱水机工作原理是湿态污泥(含固量 0.5%~5%)进入污泥通道,通道两旁各有一片圆形且钻有小孔的不锈钢栅格,栅格每分钟转动 0.5~3 转,把污泥带进脱水机内,滚压机圆形脱水道的前一半是浓缩区,污泥水份开始由两旁的栅格出水孔挤出,并由脱水机下的污水槽排出。污泥水份脱出后,流动缓慢,承受的压力越来越大,使更多水份被挤出达到更好的脱水效果。

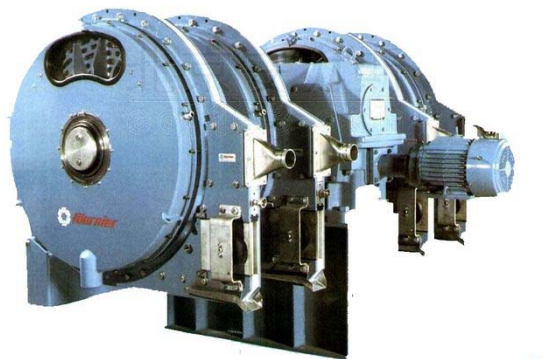


图 2-3 滚压式污泥脱水机

3、全自动板框压滤机

板框式压滤机为间断式运行，效率低，操作间环境较差，大型污水处理厂已很少采用。但近年大量开发研制工作，使其适应了现代化污水处理厂的要求。从苏州工业园区污水处理厂的全自动板框压滤机来看，整体设计上全自动压滤机结构紧凑，机架材质优于国产设备，机械加工精度高，防腐处理等级高，设备运行可靠，使用寿命长，设备占地面积小。

第三章 污泥消化技术

污泥稳定化目前常用的方法有消化、发酵、碱法稳定等。碱法稳定是通过添加化学药剂来稳定污泥，通常投加石灰。石灰稳定法实际上没有直接降解有机物，且增加了固体物，进而增大了污泥的体积，一般较少采用。好氧消化(包括延时曝气工艺)虽然也能够达到污泥稳定的目标，但能源消耗较高，不符合我国国情和节能减排的原则，本导则不推荐采用。本章导则着重讨论厌氧消化工艺，污泥发酵的内容将在本导则的其他章节进行介绍。

3.1 厌氧消化流程及产污环节

厌氧消化可以减少污泥体积，稳定污泥性质，提高污泥的脱水效果，减少污泥恶臭，提高污泥的卫生质量。污泥厌氧消化通过把有机物转化为沼气和二氧化碳，消减有机物含量，产生沼气。污泥厌氧消化工艺及产污见图 3-1。

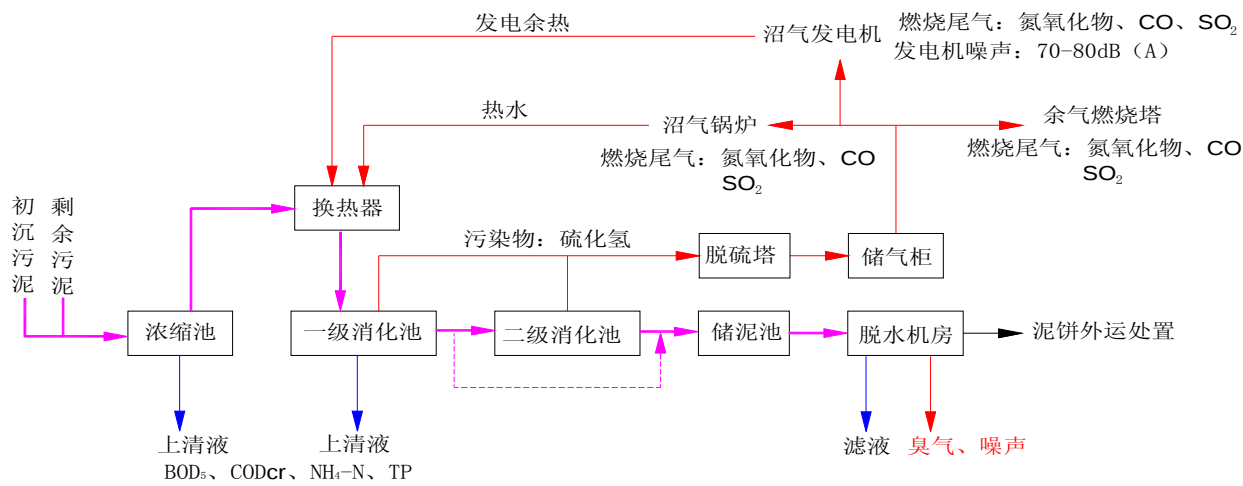


图 3-1 厌氧消化工艺及产污示意图

3.2 厌氧消化工艺及能耗和污染物排放

3.2.1 厌氧消化工艺

泥厌氧消化流程如下：污泥经过浓缩池浓缩，利用计量泵提升进入热交换器，然后进入厌氧消化池消化，产生的沼气经脱硫、脱水后综合利用。消化污泥经过浓缩、脱水后，泥饼外运处置。

1、厌氧消化工艺分类

- (1) 按厌氧消化温度划分：按消化温度可以分为高温消化 ($53\pm 2^{\circ}\text{C}$)、中温消化 ($35\pm 2^{\circ}\text{C}$)。
- (2) 按运行方式划分：按运行方式可以分为一级消化、二级消化。
- (3) 两相消化：两相消化法把厌氧消化的水解与发酵阶段、产氢产乙酸阶段及产甲烷阶段分别在两个消化池中进行，使各个阶段都能在各自的最佳环境条件下完成。

2、厌氧消化系统构成

厌氧消化系统包含：厌氧消化池、进出料系统、搅拌系统、加温系统、气体收集净化和利用系统。

- (1) 厌氧消化池：厌氧消化池主要分为柱形和蛋形消化池，柱型消化池是我国应用最为广泛的消化池(见图 3-2)，它由中部柱体(径高比为 1)和上下锥体组成，圆锥形底便于清扫，下部坡度为 1.0~1.7，顶部为 0.6~1.0。这种构型为完全内循环提供了良好条件，有利于池内保持均相。



图 3-2 污水处理厂柱形消化池

- (2) 厌氧消化搅拌：搅拌主要分为沼气搅拌、机械搅拌、水力循环搅拌三种形式。搅拌设备应在 2~5h 内至少将全池的污泥搅拌一次，搅拌能耗在 $5.2\sim 40\text{W}/\text{m}^3$ 。一般当池内各处污泥浓度的变化范围不超过 10%，即认为搅拌均匀。
- (3) 厌氧消化加温：厌氧消化反应要在一定的温度下进行，加温方式主要有池内加热盘管加热、外部换热器(包括套管式、管壳式)、螺旋板式换热，螺旋板式换热器不易堵塞，尤其适于污泥处理以及直接蒸汽加热等方式。采用沼气锅炉加温或利用沼气发电余热作为厌氧消化池热源目前应用较多。但在冬季，有时须用辅助锅炉加温。
- (4) 沼气净化、存储与利用：沼气中含有水分(H_2O)和硫化氢(H_2S)，利用前必须进行脱硫、脱水处理。沼气中硫化氢占 0%~0.3%，采用湿式或干式塔脱硫进行。干式脱硫气体以 $0.4\sim 0.6\text{m}/\text{min}$ 的速度通过脱硫剂，接触时间一般为 2~3min。脱硫剂一般 3 个月需要再生一次；湿式脱硫采用含量 2~3%的碳酸钠溶液从脱硫塔顶喷淋，沼气逆流接触，除去硫化氢。

贮气柜对整个系统具有气量调蓄和稳压的作用。主要有两种储气方式：湿式储气、干式储气。储气柜的容积一般按日均产气量的 25~40%。干式柜的工作压力为 0.4~0.6MPa。湿式柜的工作压力是 0.2~0.3MPa。

目前沼气的主要用途主要分以下几种形式：

- a. 沼气锅炉直接为消化池提供热能；沼气锅炉的热效率较高，一般在 90%以上；
- b. 沼气发电机发电供污水处理厂内部使用，发电效率 30-333%，加上余热利用热效率可达到 85-90%；
- c. 沼气发动机提供直接带动污水处理厂的鼓风机或水泵，余热还可为消化池提供热能。
- d. 沼气提纯工艺，生产车用或生活燃气。

3.2.2 能耗及污染物排放

1、厌氧消化能源消耗

污泥厌氧消化主要热耗是维持厌氧反应温度，污泥泵、污水泵(进出料系统)、搅拌设备(沼气搅拌、机械搅拌、回流)、沼气压压缩机等主要的用电设备；消化污泥的浓缩脱水能耗详见本导则第二章。

污泥厌氧消化电耗占污水处理厂全厂用电的约 15~25%；污泥加热的热耗占全厂热耗约 80%以上。污泥消化产生的沼气全部用于发电可解决整个污水处理厂内约 25~30%用电量和加温消化池的用热量。

工程实例：

厦门第二污水处理厂有 3 座蛋形消化池，工作温度 33~35℃，污泥停留时间 21d，单池有效容积 8120m³。搅拌：采用螺旋桨搅拌，导流筒导流；套管式热交换器换热；热水型沼气锅炉加温。进入蛋形消化池的污泥量为 1160m³/d，污泥含水率 95%，污泥消化总的电耗为 2916kW·h/d，即消化处理单位体积污泥的比能耗为 2.5kW·h/m³(50.3kW·h/tDS)。

2、厌氧消化污染物排放

污泥厌氧消化主要排放的污染物为发电或燃烧时产生的废气、消化废水、消化污泥。

(1) 沼气利用

沼气主要成分：甲烷含量：60~65%(体积比)；硫化氢含量：0~0.3%(体积比)，最大 1~10g/m³；二氧化碳：30~35%(体积比)；沼气燃烧或发电会产生废气；沼气发电机会产生噪声问题。

(2) 沼气发电尾气、发电机噪声排放水平

沼气发电尾气中主要污染物要求：NO_x≤240mg/m³；CO≤30mg/m³；SO₂≤90mg/m³

发电机噪声：进口发电机距机体 1 m 噪声小于 70~80 dB(A)(加隔音罩)；国产发电机距机体 1 m 噪声约 110dB(A)(没加隔声罩)。

(3) 消化液和消化污泥

消化污泥脱水滤液中污染物浓度：COD_{cr}：300~1500mg/L；SS：200~1000mg/L；NH₃-N：100~600mg/L；TP：1~10mg/L。处理后的污水一般返回提升泵房与污水一同进行处理，不进行排放。

消化污泥中有机污染物为 COD、BOD₅；无机污染物为总氮、总磷、重金属；生物

污染物：大肠菌、大肠粪菌、寄生虫卵等。高温消化对寄生虫卵的杀灭率可达 90%以上。

(4) 安全问题

污泥厌氧消化沼气中甲烷(CH₄)含量为 60~65%，当空气中甲烷含量在 5~15%时，就形成一种易爆炸的混合气体。未脱硫的沼气中硫化氢含量可以达到 0~0.3%，硫化氢具有臭鸡蛋气味，可使人中毒。所以，厌氧消化主要存在爆炸火灾、人身安全两方面问题。

3.3 确定 BAT 时需考虑的内容

通过分析污泥处理处置流程技术和产物利用技术，探讨污泥消化工艺中的节能技术，污染物排放水平和工艺适用性，排放监测以及二次污染问题。

3.3.1 中温厌氧消化技术

1、工艺描述

经过浓缩、均质后的污泥(含水率一般在 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和二级中温厌氧消化。

一级中温厌氧消化，需要设置加温、搅拌、沼气收集装置，污泥停留时间 20~30d 左右；二级中温厌氧消化，约 80%的沼气在一级消化阶段产生，经过 10~15d 后，把排出的污泥进入二级消化池。二级消化池不设加温和搅拌装置，依靠余热继续消化，消化温度约 20~26℃，产气量约占 20%，由于不搅拌，二级消化池兼具有浓缩的功能。完成厌氧消化后，消化池中的污泥排出，进入储泥池，再进行浓缩脱水等后续处理。

2、运行参数

中温厌氧消化条件下，挥发性有机物负荷为 0.6~1.5kg/m³.d，产气量约 1~1.3m³/m³.d，消化时间为 20~30d，消化池温度维持在 35±2℃之间。

3、适用范围

日处理能力在 5 万 m³ 以上的污水二级处理设施产生的污泥，宜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。

工程实例：

青岛市麦岛污水处理厂，青岛市麦岛污水处理厂采用物化+BIOSTYR 滤池（曝气生物滤池）处理工艺，污水处理规模 14 万 m³/d，产生的污泥为初沉污泥、剩余污泥和化学除磷的化学污泥，总泥量 53473kgSS/d。设置 2 座一级中温厌氧消化池，单池容积 12700m³，池内保持温度 35±2℃，污泥停留时间 20d。采用 2 套套管式热交换器换热，每座消化池设 1 套搅拌器对污泥搅拌，采用导流筒导流。产生的沼气优先用于发电，并提供热能用于污泥加热，沼气锅炉备用。

3.3.2 综合利用技术

1、沼气发电技术

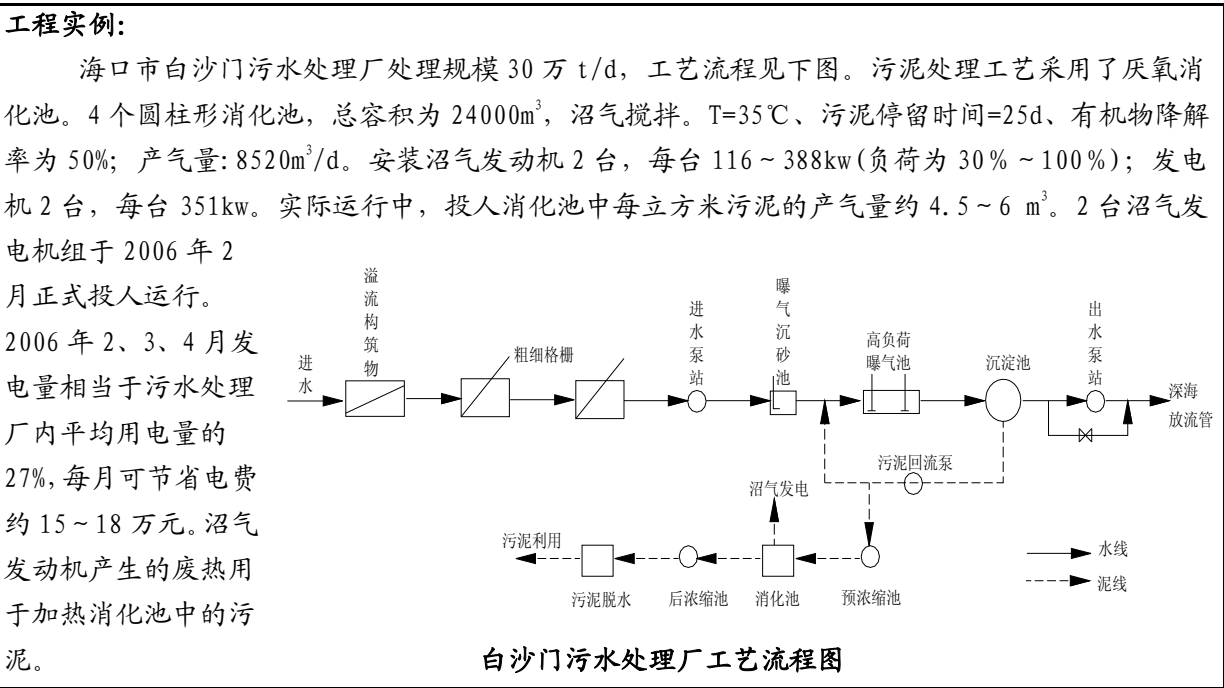
沼气发电系统的主要有燃气发动机、发电机和热回收装置。沼气经过脱硫、脱水、稳压后供给燃气发动机，驱动与燃气内燃机相连接的发电机而产生电力。用于沼气发电

的沼气中的 CH_4 含量影响到发电效率，通常 1m^3 的沼气可发电 $1.5\sim 2\text{kW}\cdot\text{h}$ ，污水处理厂沼气发电可补充污水处理厂 $20\sim 40\%$ 的电耗，燃气内燃机发电效率通常达 $25\sim 32\%$ 。沼气中 H_2S 含量应小于 $300\text{mg}/\text{m}^3$ ，不同沼气发电机组对进气中 H_2S 含量要求略有不同。

2、沼气发电过程中的热回收

沼气发电机在发电的同时产生大量废量，一般从内燃机热回收系统中可以回收 $40\sim 50\%$ 的能量，可通过热交换来给厌氧消化池加温。可回收的沼气发电热量来源于以下途径：

- (1) 沼气发电产生的烟气，温度一般在 $550\sim 600^\circ\text{C}$ 左右；
- (2) 通过燃气内燃机中的润滑油、中冷器、缸套水回收热量。



3.3.3 末端技术

1、气体净化技术-沼气脱硫

用于沼气脱硫的方法有两种，即生物法和物化法。物化法分为干法和湿法两种，根据 H_2S 含量可以设计成单级和多级脱硫。

干法：沼气先经过水封和脱水装置，常温下经过干式脱硫塔后再通过喷嘴或扩散板进入脱硫塔底部，通过脱硫剂床层，然后从顶部排出。干式脱硫剂一般为氧化铁，来源于经过活化处理的炼钢赤泥或硫化铁矿灰，配以一定比例的助催化剂、碱、粘结剂、烧失剂，制成球形、环形等；也有颗粒直径为 $0.6\sim 2.4\text{mm}$ 的铸铁屑。沼气中的 H_2S 与活性氧化铁接触生成硫化铁、硫化亚铁和水。

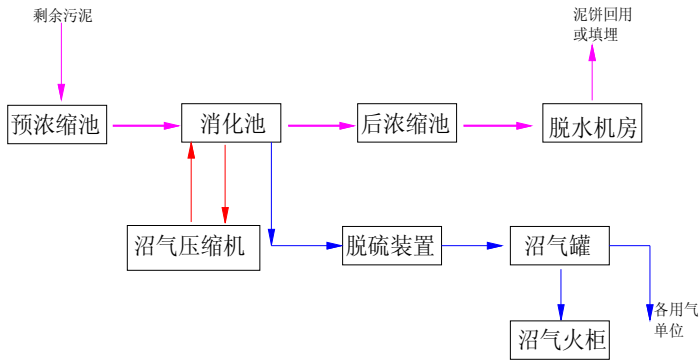
湿法：沼气通过喷嘴或扩散板进入脱硫塔底部，与吸收剂逆流接触，然后从顶部排出，经过湿法脱硫的沼气需要再次冷凝去除水分。湿法吸收剂主要为 NaOH 或 Na_2CO_3 溶液，沼气中的 H_2S 与 NaOH 或 Na_2CO_3 反应而去除，因反应消耗需要定期投加碱性溶液。

干法脱硫范围小，可以达到 99%的脱硫效率，当脱硫效率小于 90%，干法的脱硫剂就需要再生；湿法脱硫范围大，可以达到 99%的脱硫效率。干式脱硫运行成本低，但相应的安全设施设备多(如安全阀、水封、凝水器、阻火器等)，投资也高一些；湿式脱硫运行成本较高。

湿法脱硫剂会消耗一定量的碱，循环吸收液中会生成 Na_2SO_4 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 等副产品，并在吸收液中富集，使溶液吸收能力降低，从而需要定期外排脱硫循环液，需消耗大量原辅材料，也会带来二次环境污染。

工程实例 1:

青岛市海泊河污水处理厂 (污水处理规模 8 ~ 12 万 t/d)



海泊河污水处理厂污泥消化流程图

青岛市海泊污水处理厂的沼气产量约为 4000 ~ 5000 m^3 /d。沼气中 CH_4 占 66%， CO_2 占 22%。该厂沼气的利用可满足全厂供热量的 80% ~ 90%和曝气池供氧用电量的 50%以上。

采用湿式脱硫，将纯碱(Na_2CO_3)溶解后，从两个洗气柱上端喷射，与沼气逆向充分接触混和，将其中的 H_2S 去除。(1) Na_2CO_3 的投加量计算。以每天产沼气量 4500 m^3 ，沼气中 H_2S 的含量 0.2%计算。要去除每天所产沼气中的 H_2S ，至少需要 40kg 的 Na_2CO_3 。(2) 脱硫装置的酸洗维护。由于水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的存在，很容易与纯碱中的 CO_3^{2-} 生成 CaCO_3 、 MgCO_3 沉淀，而在脱硫装置内部及各部件上沉积，造成堵塞，影响脱硫装置的正常运转。由于该脱硫装置本身及其各部件绝大部分都由 PVC 材料制成，具有良好的耐酸性，遂采用 5%的 HCL 或 HNO_3 溶液对其内部进行清洗，取得了良好的效果。

2、废气燃烧器和发电尾气处理

当沼气产生量高于沼气利用量时，多余沼气通过废气燃烧器烧掉；当沼气发电系统未工作时，沼气通过废气燃烧器烧掉。废气燃烧器是剩余沼气的最终处理方式，可防止温室气体 CH_4 的排放。沼气燃烧尾气污染物主要为 SO_2 和 NO_x 。

工程实例 2:

北京高碑店污水处理厂

高碑店污水处理厂设计处理污水 100 万 m^3/d , 污泥产量 $4000\text{m}^3/\text{d}$ (含水率 97%), 采用二级中温厌氧消化工艺。污泥经过浓缩后, 含水率 96%, 进入消化池。一级消化池有加热和搅拌, 二级消化池不加热也不搅拌。运行温度为 $33 \sim 35^\circ\text{C}$ 。一期采用沼气搅拌, 二期采用机械搅拌, 同时设有循环泵搅拌作为辅助搅拌方式。沼气储柜为一期设干式球罐和湿式气柜; 二期为低压湿式三厘螺旋式升降式钢结构。脱硫装置: 一二期分别采用干式脱硫和湿式脱硫。干式脱硫塔为填料塔; 湿式脱硫采用氢氧化钠碱液喷淋。高碑店消化池的有机物分解率平均为 36%。一期采用“沼气内燃机+余热回收+发电机组”, 机械功率 513kW, 热功率约 600kW; 发电机发电容量 470kW, 厂内并网。二期工程采用“沼气内燃机+余热回收+发电机组”机械功率约 710kW, 热功率约 850 kW; 发电机发电容量 652kW; 余热回收装置热媒介质为软化水, 使用泥水热交换器给消化池污泥加热。

3.4 污泥消化可行技术

3.4.1 技术适用范围

对于污泥厌氧消化技术的选择依据原则:

1、日处理能力在 5 万 m^3 以上的污水二级处理设施产生的污泥, 宜采取厌氧消化进行稳定化处理, 同时进行沼气综合利用。消化工艺宜采用中温厌氧消化, 使污泥的有机物降解率 $\geq 35 \sim 40\%$, 产气率 $\geq 0.40 \sim 0.50 \text{ Nm}^3/\text{kgVS}$;

2、污泥处理工艺应和污水处理工艺相结合, 采用污泥焚烧处理的污水处理厂不宜采用消化处理、延时曝气等污泥稳定工艺处理污泥;

3、产生沼气须采用有效的方式利用。北方地区, 在冬季沼气用来烧锅炉供暖, 春、夏、秋三季则全部用于沼气发电预热加热消化池; 南方地区, 沼气发动机的余热可满足四季污泥加热需求, 一般不需另设沼气锅炉。具体发电的技术要求:

- 沼气发电机组电效率应 $>30\%$, 热回收效率应 $>45\%$, 总效率应 $>80\%$ 。
- 沼气利用前采用脱硫工艺脱硫后 $\text{H}_2\text{S} < 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

3.4.2 环境管理

1、初沉污泥和剩余污泥应在进入厌氧消化池前进行浓缩, 以减少污泥消化池的建造体积和耗热量。

2、沼气锅炉和沼气发电机要上尾气净化设备, 保证尾气达到《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中新源的标准要求; 沼气发电机组应上隔声罩, 并布置在单独的密闭房间内, 减少噪声污染。

3、须保证厌氧消化池的安全运行, 在沼气池、储气柜、脱硫间周边划定管理区, 重点防火, 配备消防安全设施。

3.5 污泥消化新技术

污泥热解预处理和超声波预处理是污泥厌氧消化预处理技术中研究最成熟的工艺,

热处理法和超声波使得污泥中的部分细胞体受热膨胀而破裂，释放出蛋白质和胶质、矿物质以及细胞膜碎片，在很大程度上促进污泥厌氧消化的发生。污泥厌氧消化前经过加热预处理，能够减少污泥消化停留时间，提高产气量。

第四章 污泥发酵技术

4.1 好氧发酵基本流程及产污环节

好氧发酵是在有氧条件下，好氧微生物对污泥进行分解、转化并生产出发酵产品的生物转化过程。好氧发酵通过生物反应实现污泥减量化和稳定化。污泥好氧发酵的基本工艺流程及产污环节见图 4-1。

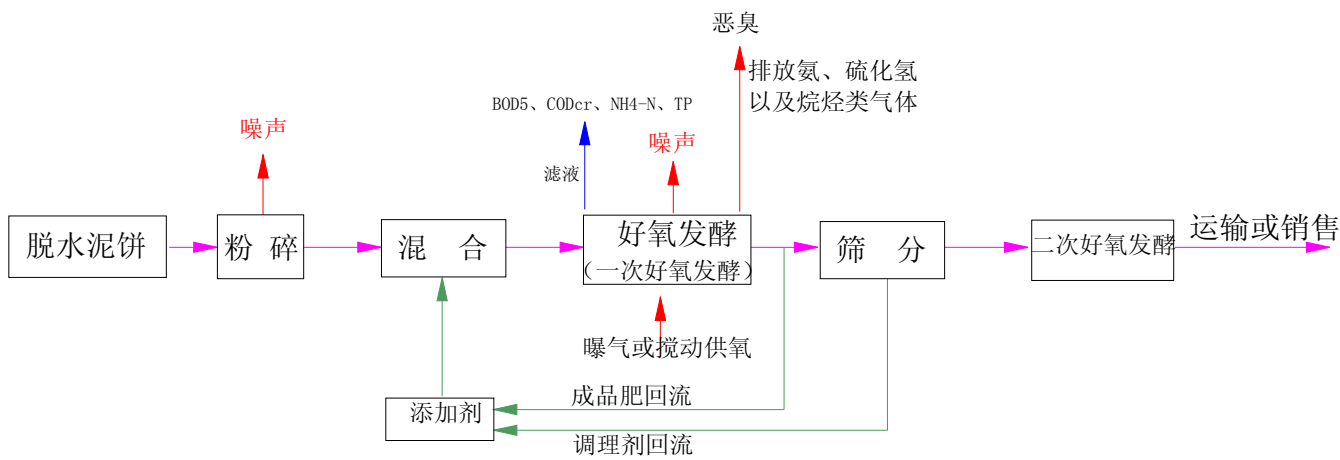


图 4-1 好氧发酵的基本工艺流程及产污示意图

污泥好氧发酵主要环境问题是由于氧气浓度不足发酵伴生物产生的恶臭气体等。污泥好氧发酵过程中，微生物对有机质的分解会产生大量的水分、 CO_2 和 NH_3 、 H_2S 以及烷烃类气体等。

此外，在好氧发酵场地雨水和粉尘污染问题需要考虑，部分除臭系统中的喷淋洗涤装置也会有少量的废水产生。

4.2 好氧发酵工艺及能耗和污染物排放

4.2.1 污泥好氧发酵工艺

1、预处理

污水处理厂脱水后的污泥含水率一般在 80%左右，呈片状或块状，结构通气性差，好氧发酵困难。因此，必须进行脱水污泥调质预处理，包括调节含水率；调节 C/N、C/P；调节 pH 值

(1) 调节含水率

污泥脱水泥饼的含水率有时高达 85%，必须调节到 55~60%方可进入到好氧发酵工序。含水率调节的方法有：螺杆挤压、添加干物料(调理剂)、发酵泥质返混、热干化、

晾晒等。

(2) C/N 比调节

好氧发酵最适宜的 C/N 为 25:1~35:1，须进行 C/N 比调节。调节的方法是脱水污泥中加入含碳较高的物料，如：园林废弃物、木屑、秸秆粉、落叶等。C/P 比则应控制在 70~150:1 的范围。

(3) pH 值调节

一般情况下，脱水污泥 pH 值在 6~8 之间污泥发酵 pH 值不需要调节，只有当 pH 值小于 6 或大于 9 时需进行调节。常用调理剂有 CaCO_3 、石灰和石膏等。

2、好氧发酵工艺分类

目前好氧发酵工艺的划分还不统一，本导则根据实际应用情况分为以下几类：

- (1) 条垛式发酵：可分为强制通风式静态发酵和动态发酵；
- (2) 发酵槽(池)式发酵：可分为阳光棚发酵槽和隧道式发酵仓两类。
- (3) 反应器发酵：可分为垂直固体流和水平及倾斜固体流两类，由于其处理规模受限，目前应用尚不广泛。



图 4-2 阳光棚发酵槽

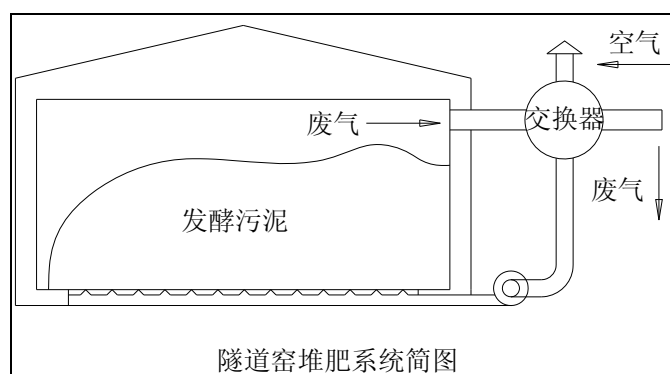


图 4-3 隧道窑静态好氧发酵

3、好氧发酵设备

(1) 预处理设备

预处理设备包括不同比重物料(污泥、填充物料、返混泥质)混合(搓合)、输送和装卸料设备。其中混合设备主要有斗式装载机、搅拌机、转鼓混合机、搓合机和间歇混合

机。混合设备运行费用的大小依次为搅拌机>斗式装载机>移动式混合>搓合设备。

输送设备主要包括带式输送机、刮板输送机、活动底斗式输送机、螺旋输送机等，此外还包括装载机、翻斗车、载重自卸卡车等工程机械。螺旋输送机是最常采用的污泥输送设备，卸料装置根据料仓尺寸可以选择单螺旋卸料装置或者多螺旋卸料装置。

(2) 翻堆设备

翻堆设备分为三类：斗式装载机或推土机、垮式翻堆机和侧式翻堆机。中、小规模 的条垛宜采用斗式装载机或推土机；大规模的条垛宜采用垮式翻堆机或侧式翻堆机。

表 4-1 不同翻堆设备的优缺点

	斗式装载机或推土机	垮式翻堆机	侧式翻堆机
优点	便宜，操作简单。	条垛间距小，发酵占地 面积小。	翻堆彻底，堆料混合均匀；条 垛大小不受限制。
缺点	堆料易压实；堆料混合不均 匀；条垛间距应 $\geq 10\text{m}$ ，可利 用的发酵场地小。	条垛大小受到严重限 制，处理的物料少。	易损坏；翻堆能力小。

(3) 通风系统

污泥好氧发酵通常采用鼓风机将空气吸入/排出堆体或发酵仓，鼓风机可采用两种不 同的工作方式：经过堆体或发酵仓向下负压抽吸或是正向通气曝气。负相曝气有助于堆 体迅速加热及排放臭气的收集及处理。正向曝气则有助于去除湿气。好氧静态发酵通常 其堆体内部压降在 $125\sim 50\text{mmH}_2\text{O}$ 之间。

输气管路应采用耐腐蚀材质不锈钢、PVC 或玻璃钢材质。单独供气时鼓风机一般为 离心式风机，输送静压力一般为 $125\sim 300\text{mmH}_2\text{O}$ ；集中供气可采用离心式风机或变容式 风机，输送静压力应根据布气管路实际情况计算。

一次发酵时，静态发酵强制通风，每 1m^3 物料通风量宜取 $0.05\text{Nm}^3/\text{min}\sim 0.2\text{Nm}^3/\text{min}$ ， 非连续通风。堆层每升高 1.0m ，风压增加 $1000\text{Pa}\sim 1500\text{Pa}$ ；间歇动态发酵可参考静态 工艺并依生产试验确定通风量，以保证发酵在最适宜条件下进行；

4、污泥发酵发酵及返混

(1) 一次发酵

采用发酵仓系统进行一次发酵时，布料应保证物料均匀，防止出现物料层厚度和含 水率不均，或物料挤压等不利于发酵升温等情况。静态发酵自然通风物料堆置高度宜为 $1.2\sim 1.5\text{m}$ ，当设有强制通风装置时，物料堆置高度可为 $2.6\sim 3.0\text{m}$ ；

(2) 二次发酵

发酵发酵后的污泥尚未达到腐熟需要进行二次发酵。二次发酵后期发酵的温度 逐渐下降，稳定在 40°C 左右，含水率可降低至 35% 以下，发酵腐熟后会形成类腐殖质 物质。

二次发酵反应缓慢，发酵时间长，时间在 1 个月 $\sim$ 3 个月。

二次发酵后的物料经筛分处理，筛上物破碎后返回原料混合搅拌工序，掺入湿污泥重新发酵；筛下物一部分送入后续制肥工艺造粒。

(3) 返混

采用发酵干化污泥(含水率 35%)作填充物与脱水污泥掺混后进行好氧发酵，实现低成本减量化。物料重量比为污泥：回流泥 1.5：1，混合物水分为 50~60%。

4.2.2 能耗及主要污染物

1、污泥发酵能耗

好氧发酵的主要消耗是电能，污泥好氧发酵能源消耗(生产 1m³ 的成品肥料)排序如下：

- 条垛式发酵 (动态、静态) 7kw/m³
- 阳光棚发酵槽发酵 7kw/m³
- 隧道窑静态好氧发酵 14.7kw/m³

2、主要的污染物

污泥好氧发酵过程中的主要污染物包括气体污染物、场地雨水、废水和噪声等。

(1) 大气污染物

污泥好氧发酵微生物对有机质的分解会产生恶臭气体，主要是氨、硫化氢、甲基硫醇、胺类等，在敏感地区废气须进行脱臭处理后才能排放。发酵过程致臭物质的值如下表 4-2 所示。

为防止发酵场(厂)对周围环境的影响，敞开式发酵场(厂)与周边居民区、学校和工厂的卫生防护距离应由环评单位和相关的环保部门经论证后确定。不能满足卫生防护距离的单独建设发酵场或在污水处理厂内建设的污泥发酵场，需采用封闭的高效发酵工艺。对厂房内外封闭，抽气形成微负压，收集气体进集中处置，进行除臭处理后，能达标排放。

表 4-2 污泥发酵过程致臭物质分析

项目	日本规范、标准	原料堆放处	处理装置口	发酵槽	临界线
氨气	1~2ppm	0.3ppm	0.3ppm	0.2ppm	0.2ppm
甲硫醇	0.002~0.004ppm	0.0002ppm	0.0096ppm	<0.0001ppm	<0.0001ppm
硫化氢	0.02~0.06ppm	<0.005ppm	<0.005ppm	<0.0005ppm	<0.0005ppm
甲硫醚		0.0003ppm	0.015ppm	<0.0001ppm	<0.0001ppm
乙硫醚		0.0044ppm	0.060ppm	<0.0001ppm	<0.0003ppm
测定方法：NH ₃ —EPCN(Fe)铁吸光光度法 MeSH、H ₂ S、Me ₂ S、Me ₂ S ₂ —FPD 法					

(2) 水污染物

露天发酵要求场地雨水和渗滤液需收集集中收集处理。废水中的污染物 COD_{cr}、BOD₅、SS、总氮、总磷、病原菌等与垃圾渗滤液污染物相似。一般来说，渗滤液的 pH 值为 4~9，COD 浓度为 2000~6000mg/L，BOD₅ 浓度为 60~45000mg/L。

(3) 噪声及其它

污泥好氧发酵成套设备中主要有初混机、翻堆机、曝气设备、粉碎机、精混机、造粒机、气流干燥机、装袋机等。为了降低污泥发酵设备噪声对周围声环境的影响应选用低噪声设备，并采取隔声、减震等措施，满足厂界噪声的达标要求。

污泥发酵过程中产生粉尘包括翻堆、通风过程和场地产生的粉尘。生产过程产生的粉尘，可采用除尘器进行处理，使粉尘浓度达到国家环保排放标准后再行排放。

对于采用高仓密闭式发酵，工作人员应该通风后进入，切实保障工作人员的安全。

(4) 好氧发酵产品的主要污染物

污泥经发酵后，其病原体基本能满足要求。但为避免污泥发酵产品中病原体对人体健康的危害，必须对污泥发酵产品中的病原体进行有效控制，其发酵产品中粪大肠菌群菌值应大于 0.01，蠕虫卵死亡率应大于 95%。

由于污泥作为发酵的原料，污泥中一般都含有 Cu、Zn、Pb、Ni、Cr、Hg、Cd 等重金属须满足国家有关标准。

4.3 确定 BAT 时需考虑的内容

4.3.1 污泥发酵技术

1、条垛式发酵

(1) 工艺描述

条垛式发酵是将原料混合物堆成长条形的条垛，其断面可是梯形也可是三角形，是一种常见的好氧发酵方法，一般为露天方式。工艺的供氧分为两种方式：

物料在经整理后的地面和通风管道系统之上，通过强制供气或强制抽气来保持发酵过程所需的氧气；另外一种是采用轮式或履带式翻堆设备，在发酵周期内定时不断翻倒堆垛，使堆料与空气接触而保持发酵过程所需的氧气。

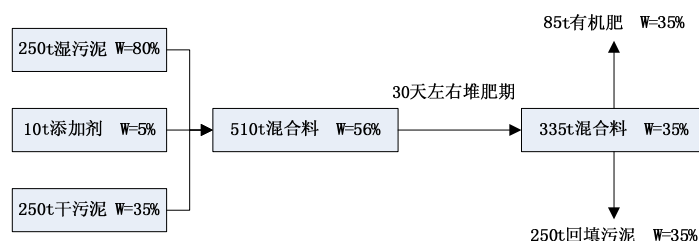
(2) 环境影响

条垛式发酵设备简单、能耗低，发酵后腐熟时间短且易干燥，发酵后的污泥泥质稳定较好。但是条垛式发酵占地面积大、堆腐时间长，且受气候和天气影响较大。

采用条垛式发酵存在恶臭问题，如果条垛太大，中心易产生厌氧区，翻垛时产生臭气；垛太小，散热迅速，杀灭

工程实例：

北京大兴庞各庄污泥消纳厂，建设用地面积 140000 平方米。其中，各类建筑和道路大约占了 60000 多平米，绿化占了其余 50% 的面积，形成年处理 100000 吨污泥，年生产 3 万吨有机肥料的生产能力。污泥露天条垛式发酵场的总面积为 38000 平方米。为解决自然气候影响问题，2006 年进行改扩建，建设了面积 13000m² 的封闭式发酵车间。单位投资成本 140 元/t。其物料衡算如下图所示：



产品能基本消除对人体有害的病原体。发酵产品符合国家农肥的卫生检疫标准。污泥含水率由 80% 降到 30%，且发酵后的有机质保持指标为 $\geq 30\%$ 。

病原体和杂草种子的效果差。

(3) 运行参数

静态发酵堆体表面覆盖约 30 厘米的腐熟堆料，减少臭味的扩散及保证堆体内较高的温度，整个发酵周期不少于 30 天。

无曝气典型动态发酵过程周期大约需要 20 天左右的时间，加设曝气系统后发酵周期大约需要 15 天左右的时间。

经条垛式发酵处理后的污泥能基本消除对人体有害的病原体。发酵产品符合国家农肥的卫生检疫标准。含水率由 80% 下降到 30% 左右，有机质≥30%。

(4) 适用范围

中型(40~100 吨含水率 80%污泥/d)、小型(<40 吨含水率 80%污泥/d)的污泥发酵场比较适合采用条垛式发酵。由于该技术受气候和天气影响最大，所以一般适合气候干燥的地区。在发酵场周边有环境敏感点，应采用密闭措施，并有除臭措施达标排放。

2、发酵槽(池)式发酵工艺

(1) 工艺描述

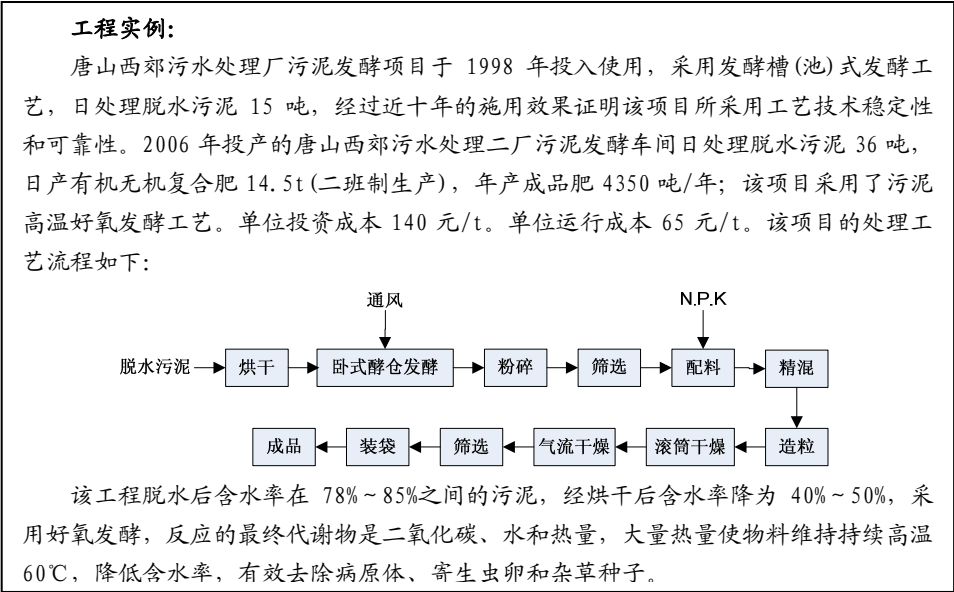
发酵槽式发酵改变了条垛式发酵的露天发酵方式，将发酵槽放到了厂房或隧道仓中，发酵工艺按其处理构筑物形式可分为阳光棚发酵槽和隧道式发酵仓两类：

发酵槽式发酵采用搅拌式翻堆机、链板式翻堆机、双螺旋式翻堆机和铰盘式翻堆机等，通过翻堆机搅拌使物料前移。发酵槽底部安装有通风管道系统，通过强制通风来保证发酵过程所需的氧气。利用了阳光棚的透光和保温性能，即使在寒冷的冬天也能保证正常发酵。

隧道式发酵仓发酵装置是封闭式的。发酵的翻堆作业采用翻堆机或装载机，在发酵仓的底部有通风管道，并通过控制系统向发酵仓内供风。

(2) 运行参数

阳光棚发酵槽发酵一般每隔 1~2 天翻堆一次。发酵槽底部安装有通风管道系统，通过强制通风来保证发酵过程所需的氧气。物料一般在入槽后 3 天即可达到 45℃，在槽内要求温度 55℃ 以上持续 7 天左右，发酵周期为 20 天左右天。



隧道式发酵仓发酵：周期为 12~15 天，发酵温度可以上升至 60~70℃。

(3) 适用范围

大型(100~300 吨含水率 80%污泥/d)工程可以选择发酵槽(池)式发酵工艺。

4.3.2 臭气污染控制技术

好氧发酵过程中，会产生大量致臭气体，需要对产生臭气进行收集处理。除臭方法有化学除臭、物理除臭和生物除臭等几类。一般而言，对污泥发酵场(厂)的臭气采用生物除臭，该方法所需设备简单、费用较低、不需要再生和其它后续处理设施、能耗小、管理维修方便。

生物除臭是通过微生物的新陈代谢将具有臭味的物质加以转化以达到除臭的目的。目前常用的生物除臭技术又可细分为生物滤池、生物吸附、土壤脱臭。

(1) 生物滤池

将收集到的废气在适宜的条件下通过生物滤池，生物滤池中放置长满微生物的固体载体(填料)，气味物质先被填料吸收，然后被填料上的微生物氧化分解，完成废气的除臭过程，如图所示。生物滤池除臭效果见表 4-3。

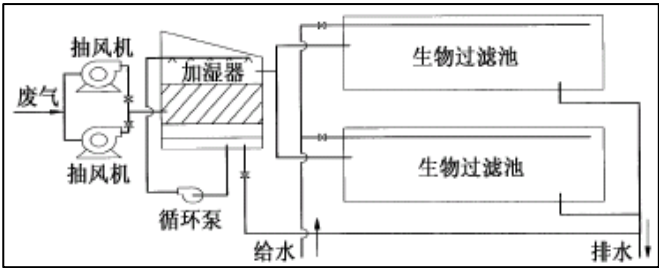


图 4-6 生物过滤池工艺流程图

表 4-3 生物滤池除臭效果

项目	除臭前浓度 mg/Nm ³	除臭后浓度 mg/Nm ³	去除效率%
H ₂ S	2.3×10 ⁻³	4.5×10 ⁻⁵	98%
NH ₃	79.9	1.6	98%
除臭效率			96%

(2) 土壤脱臭

土壤脱臭利用土壤表层 30~50cm 处大量微生物吸附和分解有机物的能力，去除气体中的污染物质。一般采用固定床，不需要加药等附属设施，运行管理费用较低，但需有宽阔的场地，定时进行场地修整，设置散水装置，以保持较好的运行状态，并且处理效果不够稳定、总体效率较低。土壤脱臭占地面积大，占地为 2.5~3.3m²/m³ 气体。

土壤除臭对硫化氢的去除效果较好，去除率大于 85%；对氨气的去除效果一般，去除率为 57%。经土壤脱臭后，氨气的排放浓度可以<0.2mg/m³，硫化氢的排放浓度可以<0.01mg/m³。

土壤除臭选择的土壤指标以腐殖土为好，亚粘土等红土需掺入鸡粪、垃圾和污泥肥料进行改良后使用，矿质土和粘土则不宜采用。土壤水分以 40%~70%为宜。过于干燥的土壤需装设水喷淋器。种植草坪的土壤表面保持倾斜，作为防暴雨的措施。经国内外

数家土壤脱臭床的实践，臭气通过土壤速度为 2~17mm/s，设计时一般选 5mm/s，有效土壤厚度为 50cm，臭气与土壤接触时间为 100s。

表 4-4 污水处理厂经土壤除臭法除臭的效果

检测项目	检测结果	
	进口	出口
恶臭浓度(无量纲)	<60	<10
氨气(mg/m ³)	<0.40	<0.20
硫化氢(mg/m ³)	<0.040	<0.005

(3) 环境影响

生物除臭一般需要施用滤料，可作为滤料的材料有木削、垃圾及污泥发酵过程的产物、沙、土壤、石头、贝壳等。过滤材料到了使用年限后要采用安全的方法处置，因此排放就容易转移到其的地方。生物除臭占地面积大，难以控制滤料的均一性、透气性、湿度、温度和 pH 值等至关重要的操作参数。当氨气浓度超过 39mg/m³ 时，氨离子会积累在滤料中，从而降低去除效果。生物除臭有时还需用大量的水来加湿进气流和保持过滤材料接近 100%的最佳湿度环境，此过程中会产生大量的渗沥液，需要适当处理或处置。

4.3.3 废水污染控制技术

发酵场(厂)设置在污水处理厂内，发酵产生的污水可回流至污水处理厂进行处理，场区雨水一并回流处理。对于单独设置的污泥发酵场(厂)，工艺过程产生的污水和场区的雨水，需单独设置污水处理设施进行处理，达标后才能排放。

4.3.4 发酵中重金属的控制

解决污泥土地利用中的重金属污染问题，需要进行源头控制。同时，污泥发酵具有降低重金属有效性的功能，并可通过优化控制提高好氧发酵对重金属的稳定作用。

在固态好氧发酵中添加常规的钝化剂，包括膨胀材料和天然吸附物质，可使离子态重金属的含量降低，削弱重金属的危害作用。

此外，向污泥中掺加腐质酸类物质(如腐质酸钠)可以对降低重金属的危害。

4.5 污泥发酵可行技术

4.5.1 可行技术

本节所介绍的应用技术和相关排放水平，是通过包括下述步骤的反复过程评估得到的。

- 污水处理厂规模
- 根据我国的相关标准，好氧发酵必须达到的稳定化指标。
- 好氧发酵必须达到的减量化指标。
- 确定好氧发酵的关键的环境因素-恶臭(NH₃、H₂S、SO₂ 以及烷烃类气体)

➤ 经济性指标

对于好氧发酵，下面的技术或技术组合可认为是最佳可行技术，依据当地的环境选择优先顺序和技术。能够达到同等或更好性能的任何其它技术或技术组合也可以考虑。

1、日处理能力在 5 万 m^3 以下的污水处理设施产生的污泥，宜采用条垛式好氧发酵处理和综合利用。在污泥处理规模大，经济条件中等发达且土地资源丰富的地区也可以采用条垛式发酵；

2、日处理能力在 5 万 m^3 以上的污水处理设施产生的污泥选择发酵槽(池)式发酵工艺。

3、在土地资源紧张，周围有环境敏感点的地区如采用发酵方式处理污泥时，须采用密闭式发酵工艺，并保持负压。

4、所选择好氧发酵工艺应达到：

- 好氧发酵后污泥的含水率 35~45%，污泥的有机物降解率>50%；
- 蠕虫卵死亡率>95%
- 粪大肠菌群菌值>0.01
- 种子发芽指数 $\geq$ 75%

5、污泥发酵工程除臭工程量大，宜选择生物除臭法有效去除发酵废气中的恶臭气体(NH_3 、 H_2S 、 SO_2 以及烷烃类气体)。经过合理设计发酵场(厂)恶臭可以达到《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)要求。

6、为防止污泥中重金属对环境的危害，可以采用在固态好氧发酵中添加常规的钝化剂，包括膨胀材料和天然吸附物质，使离子态的重金属含量降低，削弱重金属的危害作用。还可以向污泥中掺加腐质酸类物质(如腐质酸钠)降低重金属对土壤的危害。

7、露天和密闭设置的发酵场(厂)产生的污水和雨水需几种收集，通过回流到污水处理厂或自建处理装置处理达标后排放。

4.5.2 环境管理

1、选址及相关要求

- (1) 有条件将污泥发酵产品进行土地利用的中小规模的污水处理厂，优先选用发酵技术处理污泥。污泥发酵泥质质量必须符合污泥土地利用的相关要求。
- (2) 污泥发酵场(厂)场址的选择应符合当地建设总体规划和环境保护规划的规定，并应符合当地大气污染防治、水资源保护、自然环境保护要求，并且通过环境影响评价和环境风险评价。发酵场(厂)与周边居民区、学校和工厂的卫生防护距离应由环评单位和相关的环保部门经论证后确定。

2、污染物控制

- (1) 对污泥产品必须有一套有效的监测系统来严格控制污泥产品的质量，尤其是应加强对进场(厂)污泥和发酵产品中的重金属物质、蛔虫卵死亡率、粪大肠菌值等

指标进行监测。符合要求的污泥发酵泥质才可以进行出场(厂)、销售或施用。

- (2) 发酵过程应定期对污泥堆体温度、氧气浓度、含水率、挥发性有机物的含量及腐熟度等进行监测，有条件的须在线监测。
- (3) 发酵场(厂)排放的大气污染物有组织排放时，须定期对其排放口监测，有条件的须设在线监测；发酵场(厂)排放的大气污染物无组织排放时，须定期对场界进行监测，使排放的气体能满足场(厂)界达标排放要求。

3、运行、维护管理

- (1) 与周边居民区、学校和工厂的卫生防护距离不能满足要求的，单独建设的发酵场(厂)或在污水处理厂内建设的污泥发酵场(厂)，必须采用完全封闭的发酵设施。封闭发酵设施须设有强制通风装置。
- (2) 污泥发酵场(厂)生产过程中和发酵产物所产生的臭气宜统一收集并进行脱臭处理，臭气排放应符合现行国家标准《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)中的有关要求。
- (3) 发酵设施底部须设置集液坑(井)。渗滤液应集中收集作为物料调节用水，多余的渗滤液可送至污水处理设施处理，并应达标排放。露天污泥发酵场(厂)需对雨水进行集中处理，达标排放或回用。
- (4) 污泥发酵场(厂)不在污水处理厂内时，应获得有关部门的许可，采用良好密封的运输车辆或船舶输送污泥，避免在运输过程中对环境造成二次污染。污泥运输采用联单制。

4、人力资源管理及人员培训

污水处理厂建有污泥发酵场(厂)或污水处理厂外单独建设的污泥发酵场(厂)必须配有污泥发酵高级、中级工程师及其它级别污泥处理员工若干名。污水处理厂或污泥发酵场(厂)应定期对员工进行培训。

4.6 污泥发酵新技术

污泥发酵的发展趋势：从露天敞开式转向封闭式发酵；从半快速发酵转向快速发酵；从人工控制的机械化转向全自动化。

目前对于原污泥重金属含量的监测是控制重金属流向的有效手段；未来开发多功能快速检测仪器是该领域技术的发展趋势。

污泥发酵工业化将推动快速发酵技术及工艺的产生，特别是发酵物料配比及优化、发酵通气及排气系统优化、发酵微生物接种以及发酵控制系统等的集成。

臭气排放不仅污染环境，而且威胁到作业人员的职业健康。目前中型以上发酵项目无法做到系统全封闭，尤其是好氧发酵物料进出仓的自动化、无人化是整个系统全封闭

的关键点和难点，国外也没有解决此类问题(尤其是出仓问题)。开发各类新型除臭技术将是未来发展趋势。

第五章 污泥土地利用技术

5.1 污泥土地利用工艺流程及产污环节

污泥土地利用在本导则中主要是指经稳定处理后的污泥(污泥消化、好氧发酵等)或污泥产品应用于城市园林绿化、苗圃、林地、土壤修复及改良等。为区别污泥农用，特别申明本导则中污泥土地利用不包含污泥农用。污泥土地利用工艺及产污流程具体见第一章中图 1-2。

污泥土地利用如果施用符合要求的污泥产品并加强管理，其对环境的影响较小，但也存在污染物在土壤中累计，污染土壤和地下水的风险。

5.2 污泥土地利用方式及消耗和污染物排放

5.2.1 污泥土地利用方式

污泥土地利用的方式主要包括城市园林绿化、苗圃、林地利用以及土壤修复及改良。

污泥城市园林绿化指处理后的污泥用于行道树、灌木、花卉、草坪等栽培过程中作为肥料、基质和营养土。

苗圃及林地利用是将处理后的污泥用于为城市绿化提供幼树、苗、草坪、花卉的生产基地的介质土以及大片的林地等。

土壤修复及改良堆肥处理后的污泥用于严重扰动土地的改良，包括采煤场，各种采矿业开采场（金属矿、粘土矿、砂子的采掘场等）、矸石场、露天矿坑、尾矿堆、取土坑、城市垃圾填埋场等。粉煤灰堆积场以及森林采伐地，森林火灾毁坏地，滑坡和其它天然灾害需要恢复植被的土地等。

5.2.2 能耗及污染物排放

1、消耗

污泥土地利用消耗比较简单，污泥土地利用施用的方式不同，消耗不同。一般而言，采用人工施用时基本没有消耗，而采用机械施用污泥时，其消耗主要是电能消耗和油(柴油、汽油等)的消耗。消耗水平与施用量和施用场地等情况有关。

此外，为防止污泥土地利用对地表水和地下水以及土壤的污染，需要对其进行采样分析，这在一定程度上将增加药剂的消耗。

2、污染物排放

污泥土地利用排放的污染物在一定程度上取决于施用污泥的成分和施用方式，同时与污泥土地利用施用的频率、污泥施用量以及污泥施用场地的土壤背景值有关。

(1) 有机污染物

污水中 30~50%COD 进入污泥。经稳定后的污泥，有机物降解率要大于 50%，在

污泥中没有降解的有机污染物施用不当会导致土壤污染，并污染附近水体。

污泥中还含有少量的苯并(a)芘、多氯代二苯并二恶英/多氯代二苯并呋喃(PCDD/PCDF)、可吸附有机卤化物(AOX)以及多氯联苯(PCB)等。

施用于土地利用的污泥，苯并(a)芘含量须小于 3mg/kg；多氯代二苯并二恶英/多氯代二苯并呋喃(PCDD/PCDF)须小于 100 ng /kg；可吸附有机卤化物(AOX)(以 Cl 计)须小于 500 mg/kg；多氯联苯(PCB)须小于 0.2mg/kg。

(2) 重金属及其化合物

密度大于 5g/m³ 的金属为重金属。由于污水来源、污水处理厂处理工艺及季节不同，污泥的组成差异较大，具体见表 5-1。

表 5-1 我国 44 个污水处理厂污泥中重金属含量统计结果 单位：mg / kg

	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Hg	As
平均值	3.0	339.0	164.1	789.82	261.2	87.8	5.1	44.5
最大值	24.1	3068.4	2400.0	4205.00	1411.8	467.6	46.0	560.0
最小值	0.1	0.2	4.1	1.0	3.7	1.1	0.1	0.2
中值	1.7	179.0	104.12	944.0	101.7	40.85	1.90	14.6
中国污泥标准(GB4284)	5/20	250/500	300/1000	500/1000	600/1000	100/200	5/15	75/75

对于大型污水处理厂，若有大量含重金属的工业废水排入系统，则容易造成污水污泥中重金属含量偏高。中、小型污水处理厂主要以处理生活污水为主，一般不存在污泥中重金属超标的问题。

(3) 病原菌

土地利用前的污泥均须杀毒灭菌，土地利用的污泥其病原菌等必须符合相关的规定：蛔虫卵死亡率大于 95%；粪大肠杆菌大于 0.01。

(4) 恶臭及有害气体

影响恶臭及有害气体排入大气因素比较多，具体见下表：

表 5-3 影响恶臭及有害气体排入大气因素一览表

因素	标准限值	影响
土壤	pH	pH 值低，恶臭及有害气体排放少
	阳离子交换容量 CEC	CEC 高，恶臭及有害气体排放少
	土壤湿度	不显著
天气	温度	温度越高，恶臭及有害气体排放大
	降雨	稀释和渗透，降低排放浓度，但是增加对土壤的污染
	风速	风速越高，恶臭及有害气体排放大
	空气湿度	湿度越低，恶臭及有害气体排放大
管理	施用方式	低恶臭及有害气体排放技术
	污泥形状	污泥形状影响恶臭及有害气体排放
	施用时间和施用量	避开干燥、有风的天气施用污泥，施用量大造成渗漏

污泥土地利用中的恶臭及有害气体成分很多，主要以氨、硫化氢、硫醇类为主，主分微量，一般采用仪器法和嗅觉法相结合来判断。

$$Y=10X$$

式中：Y—恶臭浓度

X—嗅辨小组嗅阈值的平均值。

嗅辨小组将污泥土地利用时有臭空气用无臭空气对半稀释，直至嗅辨小组各成员感不到臭味为止，记录每个成员嗅阈值(嗅不出臭味的稀释倍数的对数)的平均值 X。

(5) 盐分(氮、磷、钾等)

氮、磷、钾等营养元素进入地表水主要是淋滤和流失。氮在冬季及沙质土壤的流失最高。污泥土地利用施用应选在秋季。当土壤的渗透能力比较强或吸附磷的土壤被剥蚀时，磷比较容易流失。如果在污泥施用后发生大暴雨或者土壤已经饱和，氮、磷、钾等营养元素进入地表水是极有可能发生的，而贫瘠的土壤氮、磷、钾等营养元素流失是很少发生的。

(6) 其他

污泥进行土地利用颗粒物排放(粉尘)，污泥原料的贮存、运输、装卸等过程也可能排放颗粒物。污泥施用时，尤其在干燥的北方天气，如果在这些方面设计和维护的不合理，将污染当地环境。

5.3 确定 BAT 时需考虑的内容

5.3.1 污泥的运输与贮存

污泥土地利用根据污泥的含水率不同，采用不同的贮存和堆放方式。对稳定化后且符合污泥土地利用条件的污泥一般须采用密闭车辆运输。

土地利用的污泥须有专用的污泥堆存、存储设施。贮存设施须防止渗漏、溢流以及阻止降水进入。土地利用的污泥可以采取露天铺砌地面堆放或带盖铺砌地面堆放。露天堆放场用于北方干燥地区，必须对渗滤液和溢出液进行收集处理达标排放。带盖构筑物主要是为防止或减少降水的影响。对于露天和带盖的污泥贮存构筑物，通常设置木、钢混或混凝土围墙。池底和进口斜坡应当铺砌衬底。

5.3.2 污泥施用方法

污泥土地利用的施用方法主要由施用的途径决定。

1、城市园林绿化

污泥城市园林绿化施用时间可根据当地气候条件、植物类型进行施用，施用一般在绿化种植前，须避开降水期和夏季炎热气温条件下施用。属盆栽的花卉和草坪绿化，其基质可以全部或部分使用污泥，大面积使用前需进行稳定程度测试，没有到达稳定化要求的产品不能直接使用。使用前可将污泥或污泥与土壤混合物堆置一段时间(堆置时间

一般>5d)。绿地直接施用时，应在种植前在土方上方均匀撒上污泥，然后结合整地翻入土内，使污泥和土壤均匀混合，有条件的可以再在污泥翻入土中后，浇少量水使土壤和污泥充分混合。

作为园林绿化的草坪或花卉种植介质土的污泥：每平方米均匀撒污泥 6~12kg 干污泥；污泥作为小灌木栽培介质土：每平方米均匀撒污泥 12~24Kg 干污泥；作为乔木栽培介质土：每平方米均匀撒污泥 10~80Kg 干污泥。

2、苗圃

污泥作为苗圃基地介质土的形式主要有林圃、花圃以及草坪基地等。经过稳定的污泥在不影响盆栽苗圃生产的情况下，可全部采用污泥产品作为苗圃基地种植介质土。

3、林地利用

污泥林用施用时段可选择在树木砍伐后的林地施用、树苗期施用、成树期施用。在林地施用污泥可采用灌溉(喷灌和自流灌溉)、翻土作垄和梨沟等形式。

污泥林用施用时间要综合考虑气候状况和林龄。雨季和冰冻期禁止污泥施用，在洪灾、冰冻或冰雪覆盖的情况下禁止施用污泥。

污泥林用施用场地坡度宜小于 6%；场地坡度为 6%以上限制施用污泥。对于坡度低于 6%的污泥施用场地，应采取一定防护措施，防治雨水冲刷、径流对地表水体及附近环境的污染。

4、土壤修复及改良

将污泥用于受损土壤的修复与改良时，施用液态污泥时须做好围挡，防止污泥溢流后对环境的污染。污染物控制指标按酸性土壤执行，施用的污泥应稳定并无明显恶臭，施用量根据具体受损土壤酌情减量。施用污泥修复和改良后的土壤须采取覆盖、深翻或用客土法等措施，避免污泥过度积累而影响土壤的修改和改良。

5.3.3 污染物限值

对污泥中污染物控制重点考虑两方面的内容：

一是污染物的浓度上限，浓度上限用 mg/kg 表示。表 5-4 列出了可应用于土地的污泥中所含每种污染物的最大浓度。如果污泥中的任何一种污染物超过其上限，那么就必须以其他方式处置，而不能土地利用。污泥满足表 5-4 的标准值，使用者还要考虑是否满足其余的污染物浓度限制。

表 5-4 污泥中污染物控制标准 (GB 4284-84)(单位：mg/m³)

污染物控制项目	最高容许含量	
	在酸性土壤上 (pH<6.5)	在中性和碱性土壤上 (pH≥6.5)
镉及其化合物(以 Cd 计)	5	20
汞及其化合物(以 Hg 计)	5	15
铅及其化合物(以 Pb 计)	300	1000

铬及其化合物(以 Cr 计)	600	1000
砷及其化合物(以 As 计)	75	75
硼及其化合物(以 B 计)	150	150
矿物油	3000	3000
苯并(a)蒽	3	3
铜及其化合物(以 Cu 计)	250	500
锌及其化合物(以 Zn 计)	100	200
稳定化控制项目	指标	
蠕虫卵死亡率	95%	
粪大肠菌群菌值	>0.01	
种子发芽指数	≥75%	
pH	6.0~8.5	

二是污染物在土壤中的累积量。即每种受控污染物在某一地点使用的最大量(千克/公顷)。累积量充分考虑到土壤的环境容量,即便是浓度上限达标的污泥,若单次使用量很高,连续长期使用也会对土壤产生危害。因此在污泥土地利用时必须同时限制安全施用量和一次性最大污泥施用量。一般而言,每年每公顷污泥用量不超过 $6t/(hm^2 \cdot a)$ (以干污泥计)。连续施用年限不宜超过 5 年,污泥一次性最大施用量不宜超过 $30t/hm^2$ 。污泥土地利用过程中须限制营养物的施用量,一般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 $125kg$ (以 P_2O_5 计)。

5.3.4 减少病原菌

施用污泥后的场地,公众高频接触的场所有将限制一年的时间不让进入。污泥施用后,非公众接触的场所有将限制 30 天的时间不许进入。如果污泥没混入土壤或者在混入土壤之前在地表保留了 4 个月或更长的时间或者草皮种在潜在性很大的公共入口的地方或草坪内,污泥施用后,除非有相关部门批准,否则草皮在 1 年内不能收获。

5.4 污泥土地利用可行技术

5.4.1 污泥土地利用指标要求

污泥土地利用不是孤立的,与其相关的活动包括:消化、好氧发酵、回收再利用、对土壤和地下水的监测。本导则只包括污泥土地利用以及与其有直接联系的环节,如污泥土地利用的途径和方式,土壤和地下水监测管理等。其他活动如消化、好氧发酵见其它章节。

(1) 采用污泥土地利用消纳污泥,污泥须经稳定化和无害化处理。

(2) 无害化指标

(a)施用的污泥应无明显臭味,污泥臭度须小于 2 级(六级臭度);(b)粪大肠菌群菌值 >0.01 ,蛔虫卵死亡率大于 95%;(c)种子发芽指数 $\geq 70\%$;(d) pH 为 5.5~8.5;(e) 含水率 $\leq 45\%$ 。

(3) 稳定化指标

(a)污泥处理工艺的有机物降解率须 $>40\%$ ；(b)稳定后的污泥：样品实验室测试， 20°C 继续消化 30 天，在第 30 天末，挥发份组分的减量须少于 15% ；比好氧呼吸速率须等于或小于 $1.5\text{mgO}_2/\text{h} \cdot \text{g}$ 污泥(干重)。

5.4.2 环境管理

1、污泥进行土地利用，须建立有效的污泥管理系统，尤其是进行大面积的林用；监测和观察系统可以有效监测污泥土地利用对环境的影响。将污泥大面积的林用和土壤改良时须设置对污泥中污染物累积量监测的追踪体系，对污泥异地使用的监控，对污泥土地利用的去向和信息有详细的了解。污泥土地利用采用联单制。

2、污泥提供者须和污泥使用者签订相关合同，明确污泥土地利用产生的短期或长期负面影响由污泥提供方负责。污泥提供方须委托有资质的监测单位在污泥施用前对污泥施用场地的土壤、地下水、大气环境背景值进行监测，并报当地环境保护主管部门备案。施用后对施用污泥的土壤、地下水以及作物等进行长期定点监测，保存记录 5 年以上。

3、污泥土地利用监测的对象为污泥、污泥施用后的土壤、土壤中的植物等。首先应加强对污泥本身的监测，符合准入条件的污泥才允许施用。其次，对污泥施用地的监测，主要包括：重金属(砷、铬、钙、铜、铅、汞、钼、镍、硒、锌等)、总氮、硝态氮和其它需要监测的参数(包括病原菌、营养物、有机污染物等)，同时还应包括蚊蝇密度和细菌总数等。监测频率应依据每年污泥施用量确定。

4、污泥大量土地使用后，不应流入周围沼泽或水域。水、冰或雪覆盖地区土地使用污泥之前，土地应用者应该确保有效的径流控制(设置斜坡、缓冲区/过滤带，翻耕地粗糙地表，作物残留或植被，排水道，防泥沙栅栏，梯田等)，阻止污泥流入到水域。禁止在任何水域附近(最近距离 10 米)的草坪，森林或开垦地使用大量污泥。

5、污泥林用可以采用保护性施用、渗透沟、过滤带、梯田、植草排水沟等措施使污泥径流达到最小。

6、污泥各相关责任方须建立相应的报告编写及交换制度。污水处理厂及污泥处理公司应记录其最终产品的去向，并有责任监测和评价相关的环境影响。土地使用者有责任把全部资料汇报给污水污泥的生产者和管理机构。为确保资料信息的必要交流，相关方需签署书面协议，协议确定相关的责任及解决办法。

5.5 污泥土地利用新技术

污泥的土地利用已有多年历史，世界上许多国家都把污泥土地利用看成是最有发展潜力的处置方式。污泥土地利用对迅速恢复植被、促进土壤熟化和提高作物产量有巨大作用，是一种利用废弃物资源且符合我国国情的方法。

第六章 污泥焚烧技术

6.1 污泥焚烧工艺流程与产污环节

不同的污泥焚烧厂，因污泥性质和所采用的污泥处理工艺、焚烧工艺、烟气处理工艺、灰渣收集和处理工艺的不同，在质量流数据方面可能会存在很大差异。图 6-1 是污泥干化焚烧厂基本工艺流程及产污环节图。

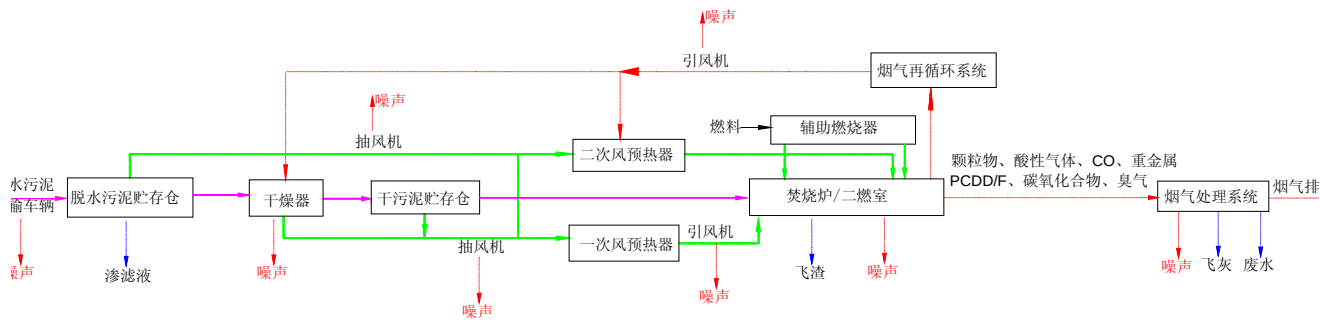


图 6-1 污泥干化焚烧厂基本工艺流程及产污环节图

6.2 污泥焚烧工艺及消耗和污染物排放

6.2.1 污泥焚烧工艺

污水污泥在送入焚烧厂之前，一般需经过脱水或干化等工艺进行预处理和/或处理，降低污泥含水率，减少污泥体积，节约运输成本，提高污泥热值。干化所用热量一般是由污泥焚烧过程自身提供。干化过程可以是直接的(污泥与热载体相接触)，也可以是间接的(热量由换热设备提供)。污泥干燥设备可根据情况选择转鼓干燥器、流化床干燥器、带式干燥器等。当前工程应用的干燥器，基本上都能满足需求。

污泥焚烧一般采用流化床(fluidised beds)工艺，该工艺主要有固定(鼓泡)流化床焚烧炉、循环流化床焚烧炉和回转式流化床焚烧炉。

6.2.2 排放和消耗水平

1、能量消耗与产出

污泥焚烧不仅产生能量，还消耗能量。未经消化处理的绝干污泥低位热值大约在 12~16MJ/kg 左右，干化污泥进行焚烧时，除可满足工艺热能需求(如预热助燃空气、干化污泥等)外，还可输出部分热量。

(1) 能耗数据

焚烧厂运行时需消耗能量，如泵和鼓风机。焚烧厂的能量需求因污泥热值的不同而有所不同，Simmerring Haide 焚烧每吨污泥的电耗为 500~800kWh/t 污泥。

(2) 能量输出和需求数据

能量的输出应工艺和地域会有很大差异，采用鼓泡流化床+热电联产(CHP)的污泥焚烧厂，处理能力为10.2127万t/a，输出电力4.8万MWh(0.47MWh/t)，输出工艺蒸汽

62630MWh(0.61MWh/t); 处理能力为10万t/a, 总产热量为7万MWh(0.7MWh/t泥), 输出电量6万MWh(0.6MWh/t), 内部利用电量2万MWh(0.2MWh/t, 含外部输入电量)。

2、物料消耗

(1) 水

污泥焚烧厂, 水的消耗主要是烟气净化过程。干式系统消耗的水最少, 湿式系统通常最多, 半湿式系统居于两者之间。污泥焚烧厂烟气处理的水耗约为 $15.5\text{m}^3/\text{t}$ 污泥。

(2) 其它消耗

国外已建污泥焚烧厂试剂消耗如表 6-1。

表 6-1 其它试剂消耗

项目	目的	典型试剂	消耗量	备注
中和剂	中和烟气中的酸性气体	NaOH、熟石灰乳或碳酸氢钠	熟石灰乳6~22kg/t污泥 NaOH:7.5~33kg/t污泥	消耗量取决于污泥特性、烟气组成和所用技术设备(接触式、混合式等)
还原剂	去除NO _x	氨、氨水(25%的NH ₃)和尿素溶液	氨水:2.5kg/t污泥 尿素:0.5~5kg/t污泥	
辅助燃料	加热和辅助燃料	轻油(柴油)、重油和天然气	重油:0.03~0.06m ³ /t污泥 天然气:4.5~20m ³ /t污泥	

3、排放

(1) 大气污染物

污泥焚烧厂的烟气经处理后, 排放废气中各种污染物含量见表 6-2。

表 6-2 污泥焚烧厂流化床反应器大气污染物排放

参数	排放(mg/Nm ³) ^a	参数	排放(mg/Nm ³) ^a
粉尘*	0.6	Ni	0.0006
HCl*	0.11	Cd	0.0006
HF	<0.05	Hg	0.0015
SO ₂ *	E	Cu	0.0009
CO*	4	PAH	0.0069
NO _x (以NO ₂ 计*)	100	NH ₃	3.55
Cr	0.0004	PCDD/F	0.00079ngTEQ/Nm ³
As	<0.0001		

*连续测定
a. 半小时平均值, 以mg/Nm³计, PCDD/F排放以ng/Nm³计(11%O₂, 干烟气, 标准状况)
b. 低于检测极限(0.3mg/Nm³)

(2) 废水

污泥焚烧厂产生的废水含有较高浓度的盐类、重金属和有机物。

(3) 固体残留物

流化床焚烧炉产生的固体残留物大部分是飞灰, 根据污泥性质和所用流化床技术的不同, 飞灰占总灰渣残留物量的 90%。污泥焚烧厂鼓泡式流化床反应器产生的飞灰的化

学组成见表 6-3。

表 6-3 流化床反应器产生的废弃物化学组成

参数	飞灰		
TOC(%)(空气干燥基-ad)	0.97	重金属(mg/kg)	
Cl(%)(ad)	0.18	Zn	2378
SO ₃ (%)(ad)	3.3	Pb	378
主要组成(mg/kg)(干基)		Mn	414
SiO ₂	225	Cr	108
Al	41948	Cd	10.4
MgO	25	As	11.6
Fe	179107	Hg	0.76
CaO	164	Ni	87
K ₂ O	1.3		

6.3 确定 BAT 时需考虑的内容

6.3.1 干化技术

1、流化床干化工艺

(1) 工艺描述

脱水污泥直接送入流化床干燥器内，无需预处理。污泥在流化床内通过激烈的流态化运动形成均匀的污泥颗粒，整个系统在一封闭气体回路中运行，烟气中的细颗粒用旋风除尘器收集，然后与少量湿泥(约 10%)混合后(平均含固率 75%)送回干燥器。热源为蒸汽时，通过换热器将热量间接传导给污泥。

(2) 环境影响

干化车间要求具有极良好的通风条件，并处于微负压状态；系统(包括干污泥传送带、料仓等)需完全封闭，并需配置全程惰性化系统。尾气产生量少，恶臭污染物浓度低，但粉尘浓度远高于 300g/m³，经除尘和冷凝后，增压返回干燥器循环利用，但较难控制；排出的少量尾气需经脱臭处理，与焚烧工艺相结合时，可将之用作助燃空气；需用高压蒸汽加热干燥机，增加能耗；床内埋管磨损严重。

(3) 运行参数

污泥可直接送入干燥器内，最终产品近似无尘，含固率大于 90%；热源通常为蒸汽或导热油，热介质温度在 220℃ 左右，干燥颗粒温度在 40~85℃ 之间，系统氧含量<3%。

(4) 适用范围

处理规模为 30×10⁴m³/d 的污水处理厂，采用流化床干燥工艺，处理成本为约 430 元/t(80%WS)(2006 年)。仅适用于污泥全干化处理。

2、转盘干燥工艺

(1) 工艺描述

属间接干燥，导热介质与污泥无直接接触。转盘干燥机主要由定子(外壳)，转子(转盘)和驱动装置组成。通过转盘边缘的推进搅拌器的作用，污泥将均匀缓慢地通过整个干燥机，从而被干化。在干化过程中，热蒸汽冷凝在转盘腔的内壁上，形成冷凝水。冷凝水通过一个管子被导入中心管，最终通过导出槽导出干燥机。污泥在干燥机内部的输送由推进搅拌器实现，为防止污泥粘附在转盘上，在转盘之间装有刮刀，刮刀固定在外壳(定子)上。

(2) 环境影响

热源可为导热油，也可为蒸汽或高温烟气，但为保证系统正常运行，要求设备防漏。

半干化(干化后干固体含量<50%)时，干污泥无需回流。尾气可直接冷凝而无需除尘。半干化干燥器一般都与焚烧炉结合，因可达到能量自平衡和最佳利用，而无需辅助热源，可大大降低运行费用。干燥器内污泥载荷大，便于控制。

(3) 运行参数

干燥器负压运行(-2~4mbar)，避免了尾气泄漏。以蒸汽作为导热介质的干燥机时饱和蒸汽一般是用4~11bar的饱和蒸汽，也有一些干燥机用导热油或水作为导热介质。采用导热油的干燥机，进油温度介于180℃到220℃，出油温度要低40℃左右。有余热可用时，可采用以热水为热源的干燥器。

该设备设计紧凑，传热面积大，设备占地面积与厂房空间与其他干燥机相比为最小；维修少，持续运行性好，可昼夜连续运转，保证每年8000小时运行。

(4) 适用范围

既适用于污泥半干化，又适用于污泥全干化工艺，使用灵活

工程实例：

荷兰的SNB污泥干化焚烧厂是目前世界上最大的污泥处理站，采用转盘干燥机+流化床焚烧炉：卡车从各污水厂运来污泥，送入转盘式干燥机干化，然后进入流化床焚烧炉内焚烧，烟气通过废热锅炉产生蒸汽，最后是烟气处理。整个系统能量自平衡，无需添加辅助燃料。在尾气处理过程中产生的蒸汽，满足了干燥机所需热能。需要额外追加的能量只占整个装置总消耗能量的3%(用于启动点火，烟气处理)。

6.3.2 焚烧技术

1、流化床焚烧炉

(1) 工艺描述

该炉特别适合焚烧污水污泥，通常分为固定式(鼓泡式)、回转式和循环式三种类型，常用工艺为固定式和循环式。炉膛下部有耐高温的布风板，板上装有载热的惰性颗粒，通过床下布风，使惰性颗粒呈沸腾状，形成流化床段，在流化床段上方设有足够高的燃烬段(即悬浮段)。

(2) 环境影响

污泥在焚烧炉中混合良好，热值范围广，燃烧效率高，负荷调节范围宽，污染物排放浓度低，热强度高，飞灰具有良好浸出性，灰渣燃尽率高：鼓泡式流化床焚烧炉(BFB)、旋转流化床焚烧炉(RFB)和循环硫化床焚烧炉(CFB)，TOC均可<3%，其中RFB通常在0.5~1%之间；烟气残留物产生量少，焚烧装置内烟气具有良好的混合度和高紊流度。NO_x含量可降至<100mg/m³。废水产生量少，炉渣呈干态排出，无渣坑废水，亦无需处理重金属污水的设备。

通常需对污泥进行严格的预处理，将污泥破碎成粒径较小、分布均匀的颗粒，因此飞灰产生量较多，操作要求较高，增加烟气处理投资和运行成本。

(3) 运行参数

鼓泡式流化床污水污泥焚烧炉示范工程运行参数如表 6-4 所示。

表 6-4 鼓泡式流化床的主要运行参数

参数	单位	值
蒸汽负荷	kg/m ² ·h	300~600
供风量	Nm ³ /m ² ·h	1000~1600
热通量	GJ/m ³ ·h	3~5
最终焚烧温度	℃	850~950
停留时间、空域和后燃区	S	min.2
助燃空气预热	℃	400~600

处理能力范围：BFB：1~10t/h；RFB：3~22t/h；CFB：1~20t/h，大多数>10t/h。

(4) 适用范围

适合大型化发展。脱水污泥和干化污泥均可在流化床中焚烧。鼓泡式适用于处理热值较低的污泥，旋转式适用于污泥与生活垃圾混合焚烧，而循环式特别适合焚烧高热值的污泥，主要是全干化污泥。

工程实例:

据统计，目前在全世界范围内，有超过 400 座流化床污泥焚烧炉。如我国上海石洞口污水处理厂污泥干化焚烧工程(64tDS/d)、德国斯图加特污水处理厂污泥干化焚烧工程，荷兰 SNB 污泥干化焚烧工程(处理能力为 300tDS/d)。

德国某处理能力为 10.2127 万 t(湿含量约 43%)的污泥焚烧厂，投资为 1800 万马克(1997)；荷兰 SNB 处置中心，处理能力为 300tDS/d，每吨湿泥的处理成本约为 26 欧元(折合人民币 260 元)。

6.3.3 烟气净化技术

1、袋式除尘器

(1) 工艺描述

除尘效率非常高，且可去除的颗粒物粒径范围非常宽。直径通常为16 cm~20cm、长约10m。对粒径>0.1μm的颗粒有非常高的去除效率，粉尘排放量极低。常用试剂为石灰和活性炭等。

(2) 环境影响

对粉尘去除效率在99%以上，对汞的去除效率重金属80%以上，有时也能高效去除Hg和PCDD/F，对NO_x也有一定的去除效率。

如果注入活性炭，金属Hg的去除效率通常可以>95%，排放<30bg/Nm³。如将其与石灰或碳酸氢钠等碱性试剂一起注入，二噁英排放可降到<0.1ngTEQ/Nm³的水平。采用褐煤焦炭作催化过滤袋吸附剂，PCDD/F去除效率达到99.9%，并可降低NO_x水平。

能耗高，活性炭和碱性试剂消耗量大；温度控制和系统维护要求高；注入活性炭有自燃/着火的风险，会使Hg排放增加，烟气处理残留物中PCDD/F和Hg含量增加。一般而言，大约有80%的PCDD/F会随粉尘排放掉，降低残留物综合利用效益；该设备对冷凝水敏感，存在酸露点问题，会造成腐蚀；灰渣贮存罐有着火风险。采用催化过滤袋时，需增加去除Hg的装置。

(3) 运行参数

烟气分布要均匀。每一室的压降需独立监测，各袋室处理能力要充足，即使在部分袋室因损坏被关掉以更换滤袋时，也能使烟气达到排放要求。

采用催化反应袋时，温度范围在180℃~260℃之间。采用活性炭试剂时，需与其它试剂相混合（如将90%的石灰和10%的活性炭混合）。

表 6-5 用作预除尘时的排放水平

系统名称	典型的排放浓度	优点	缺点
袋式过滤器	<5mg/m ³	—广泛用于污泥焚烧 —滤袋上的残留物层充当额外的滤料，也起到吸附反应器的作用	—能耗相对较高(与ESP相比) —对冷凝水敏感，会造成腐蚀

(4) 适用范围

常作为烟气净化系统的末端设备，常用于粉尘、重金属、二噁英等去除率要求较高的情况。与SCR协同使用时，可使PCDD/F排放水平<0.1ngTEQ/Nm³和粉尘排放量<2mg/Nm³。

表 6-6 用作末端除尘时的排放水平

物质	削减效率范围(%)	可达到的排放范围				评价
		半小时平均值(mg/Nm ³)	日平均值	年平均值	比排放(t/t废弃物输入量)	
粉尘		<30	0.04~5	<0.5		
注意：准确的最终排放水平取决于最后一级粉尘去除段入口的粉尘浓度(这又取决于前面所用装置的性能)和使用的最后一级粉尘去除段的效率。本表给出的数据给出了作为末端除尘时的一个指导性排放水平。						

工程实例:

德国斯图加特市中心污水处理厂污泥干化焚烧第三期工程,通过注入活性炭对 Hg 进行吸附,并在 FGT 末端采用再除尘工艺。法国 ronville 末端袋式过滤器,注入石灰+活性炭(湿式 FGT 下游);Ocrea 末端袋式过滤器,注入活性炭,处理 PCDD/F。比利时、德国、法国和其它一些国家的示范工程建有两级袋式除尘器。

国产处理能力为 $60000\text{m}^3/\text{h}$ 的长袋低压大型脉冲袋式除尘器成本为 60 万元人民币左右,含自动控制系统和设备安装调试费用。国内某 200MW 电厂,每台机组配置袋式除尘器的投资为 2000 万元,可将粉尘排放浓度控制在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

2、酸性气体去除系统

(1) 工艺描述

国内典型半湿式烟气处理系统如图6-3所示,左侧为接触塔,下游为除尘器。

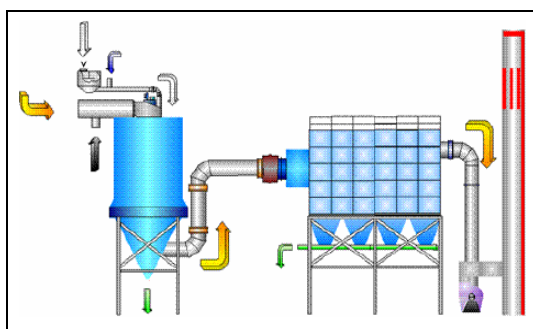


图 6-3 半湿式+布袋除尘器 FGT 典型设计示意图

(2) 环境影响

废水循环使用,因此无废水排放;脱酸效率高达98%。固体残留物可综合利用。投加活性炭可使二噁英排放浓度 $<0.1\text{TEQ ng}/\text{Nm}^3$,具体排放水平见表6-7。

表 6-7 半湿式洗涤器排放水平

物质	可达到的排放水平	
	半小时均值(mg/Nm^3)	日均值(mg/Nm^3)
HCl	<50	3~10
HF	<2	<1
SO ₂	<50	<20

通常要求吸附剂过量系数为1.5~2.5,但会产生大量烟尘,加大颗粒物去除负荷。能耗相对较低;与SCR联合使用时,需再热烟气(出口温度在 $120^{\circ}\text{C}\sim 170^{\circ}\text{C}$)。

(3) 运行参数

大多数系统仅由一套试剂混合单元(试剂加水)、一套喷雾塔和一套袋式过滤器组成。采用袋式过滤器时,通常要求入口气体温度高于 $130\sim 140^{\circ}\text{C}$ 。通过使用预除尘设备,可降低半干式系统中所用反应器和袋式过滤器的操作复杂程度。

表 6-8 半干法环境效益

项目	单位	可取得的范围
能耗	kWh/t污泥	6~13
试剂消耗	Kg/t污泥	12~20(石灰)
试剂计量系统	比率	1.4~2.5
残留物类型	Kg	FGT残留物和飞灰
残留物量	Kg/t污泥	25~50
水耗	L/t污泥	少量或无
废水产生量	L/t污泥	无
烟羽能见度	+ /0/-	0

(4) 适用范围

与袋式除尘器等均有很好的兼容性，可用于各种类型、各种规模的污泥焚烧厂，但入口烟气浓度变化很大时，处理能力受限。

(5) 经济性

相对湿式系统，投资成本要低些，但残留物产生量较高，所以处置成本相对较高；碱性试剂消耗成本更高，但运行维护成本相对较低。该技术的投资成本见表6-9。

表 6-9 典型的半湿式烟气处理系统可选择组成的投资成本估算

烟气处理系统（FGT）组成	投资成本估算(百万欧元)
袋式除尘器	2
喷雾干燥器	1~1.5
估算投资成本为2条年总处理能力200Kt的MSWI生产线	

2、二噁英和 Hg 去除技术

活性炭对Hg和PCDD/F有很高的吸附效率。烟气到达喷雾干燥器—袋式除尘器/ESP的组合工艺以前，向烟气中投加活性炭，PCDD/PCDF(以及汞)将被吸附到活性炭上，再用布袋除尘器或ESP将其从气流中过滤出来。加入活性炭可使烟气中POPs的去除效率提高到75%，这种技术也被称作“废气抛光”。

符合烟气净化要求的活性炭每吨价格在6000元以上。每年正常的活性炭投加成本占整个烟气净化系统运行成本的一半。

3、氮氧化物去除技术

氮氧化物的去除宜采用燃烧方式进行控制，包括采取必要的措施使气体有效混合和控制温度及良好分配一次风和二次风的供给，避免助燃空气过量系数过高和温度梯度不均匀，或者采用烟气再循环技术，以再循环烟气替代10%~20%的二次风或者采用分段燃烧技术，减少主反应区氧气供给，增加后燃烧区的空气供给，使已形成的气体氧化，或者采用合适的喷水装置将水注入炉膛或直接注入火焰，以降低主燃烧区内的热点温度，减少热力型NO_x的形成。

如果设置专门的脱硝装置，如SCR或SNCR可使NO_x排放水平达到<200mg/m³，甚至

更低水平。

6.3.4 飞灰处理技术

1、水泥固化法

(1) 工艺描述

将残留物与矿物质或水硬性胶凝材料(如水泥、煤炭飞灰等)相混合，控制水泥的性质。添加足够的水以确保水与水泥发生水合反应并将水泥粘合起来。残留物将与水和水泥相反应，形成金属氢氧化物或金属碳酸盐，这两种物质通常比残留物中原先的金属化合物更难溶解。

(2) 环境影响

消耗水泥、添加剂和水。添加水泥和添加剂增加了废弃物体积；干重增加了50%，添加水使干重增加了30%~100%。因此，由飞灰产生的残留物重量将从20~30kg/t干污泥增加到大约40~60kg/t干污泥。

降低难溶性金属氢氧化物或金属碳酸盐形成的可能性。残留物可用作矿厂的回填材料或建筑材料，扬尘的风险非常低。但尽管短期内固化产物重金属浸出性较低，最终会有沥出风险，而且高pH值的水泥固化系统会使两性金属(Pb和Zn)的浸出性显著增加。

(3) 运行参数

能耗和水耗会有变化，因此很难定量。该技术的使用相对简单些。

(4) 适用范围

适合用于处理各种类型的烟气残留物，也是最为常用的烟气残留物处理技术。

(5) 经济性

不同国家，水泥固化处理成本变化非常大。一般处理成本可达到25欧元/t残留物。

6.4 污泥焚烧可行技术

6.4.1 可行技术

1、污泥产生量较大，难以有效利用其它热源的情况下，采用干化焚烧方式处理处置污泥为可行技术。污水污泥干化，须有效利用回收的焚烧热量，在装置正常运行工况条件下，通常不需要添加辅助燃料(开机、停机和偶尔使用辅助燃料维持燃烧温度除外)。干化焚烧组合工艺中，流化床干燥工艺被认为是可行技术。

2、采用流化床技术对污水污泥进行干化焚烧是可行技术，该系统通常焚烧效率更高和废气产生量更低。循环流化床炉比鼓泡床对燃料的适应性更好，但是需要旋风除尘器来保留床层物质。鼓泡式可能会存在被一些污水污泥堵塞设备的风险，但可从工艺中回收热量促进污泥的干燥，进而降低对辅助燃料的需求。

3、焚烧炉设计良好且工艺参数控制良好是有效消减 PCDD/F 最为重要的技术手段之一，并应避免在 250~400°C 的温度范围内去除粉尘。在除尘器中填充含碳物质、活

性碳或焦炭可使 PCDD/F 最终排放降至 $<0.1\text{ng TEQ/Nm}^3$ 。要使最终排放降至 0.001 以下，增加活性碳或焦炭的使用量是可行技术措施之一。

4、烟尘排放标准要求较严格的地方($1\sim 5\text{mg/m}^3$ ，日均值)，采用袋式除尘器是可行技术，且袋式除尘器也是烟气净化系统末端设备的可行选择；旋风分离器是烟气预除尘可行技术(去除粗颗粒以降低后续处理设备负荷)。

5、预除尘+半干法酸性气体去除技术+末端除尘技术(袋式除尘器)+SCR 系统是焚烧烟气处理可行技术之一；烟气中酸性气体含量较高时，旋风除尘器(预除尘)+湿式净化系统是实现粉尘、酸性气体有效去除并降低 PCDD/F 再合成的可行技术之一。

6、根据实际所需的烟气去除效率和 NO_x 排放水平，主要利用与燃烧有关的 NO_x 控制措施来降低 NO_x 排放水平。

7、在采用湿式洗涤器作为烟气中总汞控制的唯一或主要方法时，为控制汞排放，在第一阶段添加特定试剂去除离子态 Hg 时，要求将低 pH 值和采用活性碳注射工艺或采用活性碳或焦炭过滤器工艺相结合。可将 Hg 的最终大气排放值降到 0.05mg/m^3 的范围内；

8、在采用半湿式烟气处理系统控制 Hg 排放时，使用活性碳或其它有效的吸附剂吸附 PCDD/F 和 Hg，控制试剂给料速率，使 Hg 的最终排放量降到 $<0.05\text{mg/Nm}^3$ 。

6.4.2 环境管理

1、污泥焚烧厂建立入厂污泥质量控制系统，对污泥进厂和出厂实行联单制，对每批进厂脱水污泥分别监测，取样，化验；

2、污泥焚烧厂应通过防止需贮存污泥的量超过贮存装置的贮存容积，加强污泥运输的管理，将脱水污泥贮存区加盖并保持微负压的方式防控脱水污泥贮存和泄漏风险；

3、将脱水污泥贮存区(包括贮存罐和贮存仓)空气抽作焚烧炉助燃空气(一次风或二次风)；

4、在焚烧炉不运行期间(如维修)，为控制贮存区臭气(包括其它潜在的逸出气体)，应避免贮存过量污泥或通过采用掩臭剂的方法；

5、应对焚烧炉和烟气净化系统进行例行常规检查以保证系统的完整性和焚烧炉及其组件的合理运行，并确保系统连续运行

6、安装自动辅助燃烧器是使焚烧炉启动和运行期间燃烧室中保持必要燃烧温度

7、优先考虑充分利用焚烧烟气等系统余热预热一次风和二次风

8、加强对污泥进料时间、燃烧条件的控制和燃烧后的管理，确保焚烧炉保持良好的运行工况。最佳燃烧条件控制措施包括：通过优化一次风、二次风供给计量系数和分配，控制空气供给速率；通过优化燃烧区停留时间、温度、紊流度和氧浓度，增加二燃室扰动度，控制燃烧温度分布及烟气停留时间；防止出现会使部分燃料露出燃烧室的过冷或低温区域等。

6.5 污泥焚烧新技术

6.5.1 与生活垃圾(MSW)混合焚烧

目前国内外常用的生活垃圾焚烧炉为炉排炉，如滚动炉排、水平往复推饲炉排和倾斜往复炉排（包括顺推和逆推倾斜往复炉排）等。国内也有几座生活垃圾焚烧厂采用循环流化床焚烧炉。充分利用现有设施，节约新建污泥焚烧和烟气处理设施的投资。要求污泥含水率降至与生活垃圾相似的水平，需安装独立的污泥混合和进料装置；其缺点是烟气和飞灰产生量增加，底灰未燃尽率提高，烟气净化系统投资和运行成本增加，并降低生活垃圾发电厂的发电效率和焚烧厂垃圾处理能力。

污泥与生活垃圾的大致比例为1:3，干污泥(含固率约90%)以粉尘状的形式进入焚烧室或者通过进料喷嘴将脱水污泥(含固率20%~30%)喷入燃烧室，并使之均匀分布在炉排上。实践经验表明，通过喷嘴注入脱水污泥的方式进行混合焚烧时，污泥掺烧质量比率可达到20%(含固率25%时)。

凡建有生活垃圾焚烧发电厂的城市，在运输成本和设备增加成本可接受的情况下，均可采用该技术。比利时Aquafin公司经营的区域性污泥处理中心，将干污泥外运至垃圾焚烧厂、电厂等场所焚烧，付费标准为40~60欧元/t。我国有多座示范工程，如深圳盐田垃圾焚烧厂，每天处理40t脱水污泥。

6.5.2 利用现有工业用炉焚烧污泥

主要利用沥青和水泥制造厂的焚烧炉焚烧干化污泥。污泥与水泥原料粉混合或分别送入水泥窑。通过高温焚烧至2000℃，污泥中有机有害物质被完全分解，在焚烧中产生的细小水泥悬浮颗粒，会高效吸附有毒物质；回转窑的碱性气氛，很容易中和污泥中的酸性有害成分，使它们变为盐类固定下来，如污泥中的硫化氢(H_2S)因氧的氢化和硫化物的分解而生成 S_2O ，又被 CaO 、 R_2O 吸收，形成 SO_2 循环，在回转窑的烧成带形成 $CaSO_4$ 、 R_2SO_4 而固定在水泥中。污泥中的重金属在进窑燃烧的过程中，被固定在熟料矿物的晶格里。浸出液中重金属含量少，不会造成污染。

矿渣可掺加20%污泥生产水泥熟料，通常加入的干污泥量占正常燃料(煤)的15%。

恶臭气体和渗滤液等问题未经合适处理会使厂区环境糟糕。脱水污泥进厂后要要进行脱水和调质等预处理，增加了资源和能量消耗。水泥窑中过高的焚烧温度，会导致 NO_x 等污染物排放的增加，从而增加了尾气处理成本。

目前，上海水泥厂污泥处置示范工程综合运行成本在60元/t(80%WS)左右。一般而言，只有Hg含量低的污泥(小于3mgHg/kg干污泥)才允许采用这种方式进行焚烧。

6.5.3 火电厂混合焚烧发电工艺

该系统有循环流化床锅炉、除尘器和污泥贮存仓。利用螺杆泵将含固率为15~25%的脱水污泥经污泥输送管和污泥喷射头喷射至循环流化床燃烧室中焚烧，利用风机将脱

水污泥贮存仓空气作助燃空气送至燃烧室中焚烧；该系统还可以具有蒸汽吹扫装置和高压水清洗装置，不定时清洗螺杆泵、污泥输送管和污泥喷射头，防止堵塞。焚烧产生的尾气经处理后排放。

该工艺可以显著减少残余物(粉尘)的最终处置量，有效利用污泥热值平衡能量需求，替代部分燃煤，降低成本，焚烧灰无活性且无臭，可用于生产建材。但掺烧污泥会降低焚烧炉内温度和焚烧灰的软化点，并增加飞灰产生量，增加除尘和烟气净化负荷，降低系统热效率(系统热效率会降低3~4%左右)，会引起低温腐蚀问题。

常用除尘和尾气净化系统是旋风除尘器和静电除尘器，但对混燃处理量有限制。

国外火电厂有掺烧含固率20%~35%的脱水污泥的工程实例，其掺烧量约为煤质量流量的5~10%。我国几座燃煤电厂的混合掺烧的比例正常在20%~25%左右(80%WS)，单位运行成本在120元/t(80%WS)，系统改造成本约为15元/t(80%WS)。

6.5.4 喷雾干燥+回转式焚烧炉

国内自主研发的喷雾干燥+回转式焚烧炉集成技术。该技术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。尾气处理采用旋风除尘器+喷淋塔+生物除臭填料喷淋塔，炉渣和炉灰可视为一般固体废弃物，送往砖厂制砖或附近的水泥厂作为生产水泥的原料。飞灰和干污泥混合后进入回转式焚烧炉焚烧。



热值为5000kcal/kg的燃煤的平均消耗量为44.84kg/m³(80%WS)；处理单位湿污泥(含水率80%)电耗为62.98kWh/t。单位水耗为2.33m³/t(80%WS)，系统中消耗化学试剂的主要单元为生物填料除臭喷淋洗涤塔，其平均单位消耗量为2.5kg/m³(80%WS)。

项目总投资为650万元，单位投资成本为10.83万元/t(80%WS)或54.17万元/t(DS)，单位运行成本为94.64元/t(80%WS)，单位经营成本为120元/t(80%WS)。

图6-5 污泥喷雾干燥+回转式焚烧炉系统

第七章 污泥处理处置最佳可行技术选择

7.1 污泥处理、处置最佳可行技术选择原则

1、污泥处理和处置技术的选择应该本着因地制宜的原则，技术的选取和管理要充分考虑到区域特点。同时污泥如何处理和处置须统筹考虑，处理技术的选择应充分考虑后续的污泥处置。

2、从污泥的产生到污泥的最终处置须遵循“减量化、稳定化、无害化”原则。须在坚持“安全、环保”的原则下，实现污泥的处理处置，回收和利用污泥的能源和物质，实现污泥处理处置全过程管理。

3、污泥处理和处置技术的选择和管理应全面体现节能减排和循环经济的思想。污泥消化技术的选择须充分考虑污水处理厂的污水处理工艺，采用厌氧消化；污泥干化技术应和焚烧以及利用余热相结合，不鼓励对污泥进行单独热干燥。

4、采用消化工艺处理后的污泥不宜采用焚烧处置，应优先采用土地利用处置污泥；采用好氧发酵工艺处理后的污泥产品进行土地利用，限制污泥农用。土地资源丰富的地区可以采用污泥好氧发酵工艺处理污泥。

6、鼓励污泥处理和处置设施的运营理由具有运营资质的专业单位进行；运营单位应确保污泥处理处置设施的稳定运行。污水处理厂对污泥处理处置全过程负责，采用联单制实施对污泥处理处置的控制，防止污泥产生的二次污染。

8、鼓励开发和采用污泥处理处置新技术和新设备，加快污泥混合焚烧(与垃圾、水泥原料及热电厂掺煤混烧等)的研究和开发利用，促进污泥处理处置技术朝向标准化和产业化发展。

7.2 污泥处理最佳可行技术

7.2.1 污泥消化最佳可行技术

1、最佳可行技术工艺流程

污泥消化最佳可行技术主要技术关键内容为污泥厌氧消化技术，同时包含污泥预处理过程、消化产物利用以及污水处理过程环境管理实践等相关内容。污泥厌氧消化最佳可行技术工艺流程图见 7-1。

污泥厌氧消化关键技术包含：厌氧消化反应器、进出料系统、搅拌系统、加温保温、气体收集净化、存储系统等等；同时包括污泥浓缩脱水预处理和厌氧消化产生的气体进行脱硫处理后综合利用(沼气锅炉或沼气发电等)。

2、污泥厌氧消化最佳可行技术适用条件及运行管理要求

污泥厌氧消化最佳可行技术适用条件，为日处理能力在 5 万 m^3 以上的污水二级处理设施产生的污泥，宜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。

- (1) 污泥处理工艺和污水处理工艺相结合，带预处理的好氧生物处理工艺(如：带有初沉池的传统活性污泥法等)，污泥宜采用厌氧消化处理工艺。如果污水处理工艺为延时曝气系统，不宜选择污泥厌氧消化处理工艺，消化处理后的污泥不宜进行焚烧处理；
- (2) 厌氧消化产生沼气在北方地区为冬季消化池加温需要同时设置沼气发电机和沼

气锅炉；南方地区，沼气发电机的余热可满足四季污泥加热需求，一般不需另设沼气锅炉。

- (3) 初沉污泥和剩余污泥应在进入厌氧消化池前进行浓缩，减少污泥消化池的建造体积和耗热量，污泥消化后须进行脱水，经浓缩脱水后的污泥含水率应降低到80%以下。
- (4) 采用中温厌氧消化须满足表 7-1 的相关要求。

表 7-1 污泥厌氧消化最佳可行技术的运行参数

运行参数	水平
运行温度	最佳温度为 33~35℃
消化时间	为 20~30d
pH	7~7.5
污泥的有机物降解率	≥40%
产气率	≥0.40~0.50Nm ³ /kgVS
搅拌	采用机械搅拌或沼气搅拌
沼气综合利用	1) 沼气发电机组电效率应>33%; 2) 热回收效率应>45%，总效率应>80%;

- (5) 综合利用污泥消化产生的沼气，如沼气发电、沼气锅炉等。沼气利用前脱硫和脱水达到设备的要求，保证设备的正常运行。沼气池、储气柜、脱硫间周边划定管理区，重点防火，配备消防安全设施。
- (6) 污泥消化池须设有计量装置，同时消化池出气管道上应设沼气计量装置或仪表沼气计量装置，具有瞬时流量和累计流量读取的功能。
- (7) 消化、脱水后的污泥进行临时堆放或存储时所须采取防渗处理设施。污泥厂外运输须采用密闭车辆运输，出厂需采用计量和台账式记录系统。

3、达到的污染物排放水平及管理要求

- (1) 污泥浓缩、消化上清液以及消化后的脱水均有废液产生，浓缩上清液、消化液和脱水滤液等可根据污水排放水质要求分别和合并处理。分别处理对象主要是污水中的磷和氨氮，可考虑采用厌氧氨氧化、单独反硝化池、化学除磷以及鸟粪石结晶等方法。处理后的污水回流至污水处理厂处理系统。
- (2) 集泥池、浓缩池、消化池、污泥泵房、污泥脱水机房和污泥堆储场所等须密闭，在环境敏感区域应保持负压，恶臭处理采取生物除臭，臭气排放应符合现行国家标准《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)中的有关要求。
- (3) 污泥厌氧消化最佳可行技术大气污染物排放水平应满足表 7-2 的要求。

表 7-2 污泥厌氧消化最佳可行技术的大气污染物排放水平

项目	排放水平
预处理设施及消化工艺排放的恶臭	排放标准采用国家《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)中厂界二级
消化产生的沼气综合利用	采用脱硫工艺脱硫后 H ₂ S<50mg/Nm ³ 。
沼气发电尾气	NO _x ≤240mg/Nm ³ ; CO≤30mg/Nm ³ ; SO ₂ ≤90mg/Nm ³

- (4) 沼气锅炉和沼气发电机安装尾气净化设备，尾气排放标准优先执行地方标准，无地方标准执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中新源的标准要求；
- (5) 消化后的污泥粪大肠菌群菌值>0.01，蠕虫卵死亡率>95%。
- (6) 污泥预处理设备、污泥消化设备、沼气发电机组等应采取相应的隔声、减振等

措施，设备安置在密闭的构(建)筑物内，减少设备噪声对周围环境的影响。

7.2.2 污泥发酵最佳可行技术

1、最佳可行技术工艺流程

污泥发酵最佳可行技术主要技术关键内容为污泥好氧发酵，包括前处理、主发酵(一次发酵)、后发酵(二次发酵)、后处理及贮存等，具体见污泥发酵最佳可行技术工艺流程图 7-2。

污泥好氧发酵关键技术包含：预处理设备、翻堆设备、通风系统、气体收集净化、存储系统等等。好氧发酵的污泥均是经过脱水后污泥，含水率在75%以下，污泥可以在污水处理厂内发酵，也可以在厂外单独发酵。污泥好氧发酵前要加入一定比例的膨松剂和调理剂(如秸秆、稻草、木屑或发酵后的污泥等)。

2、污泥好氧发酵最佳可行技术适用条件及运行管理要求

- (1) 污泥发酵场(厂)场址的选择应符合当地建设总体规划和环境保护规划的规定，符合当地大气污染防治、水资源保护、自然环境保护要求，通过环境影响评价和环境风险评价。发酵场(厂)与周边居民区、学校和工厂的卫生防护距离应由环评单位和相关的环保部门经论证后确定。
- (2) 日处理能力在 5 万 m³ 以下的污水处理设施产生的污泥，采用条垛式好氧发酵处理和综合利用。污泥处理规模大、经济条件中等发达、土地资源丰富的地区可采用条垛式发酵。条垛式好氧发酵最佳可行技术应满足表 7-3 的要求。

表 7-3 污泥条垛式好氧发酵最佳可行技术的运行参数

好氧发酵后的污泥产品	水平
发酵周期	强制通风式静态发酵不少于 30 天
	无曝气典型动态发酵过程周期约 40 天，加设曝气系统后发酵周期约 15 天，温度 55℃ 以上。
污泥的含水率	30% 左右
污泥的有机物降解率	≥50%
能源消耗	7kw/m ³

- (3) 日处理能力在 5 万 m³ 以上的污水处理设施产生的污泥可以选择发酵槽(池)式发酵工艺。发酵槽(池)式发酵工艺最佳可行技术应满足表 7-4 的要求。

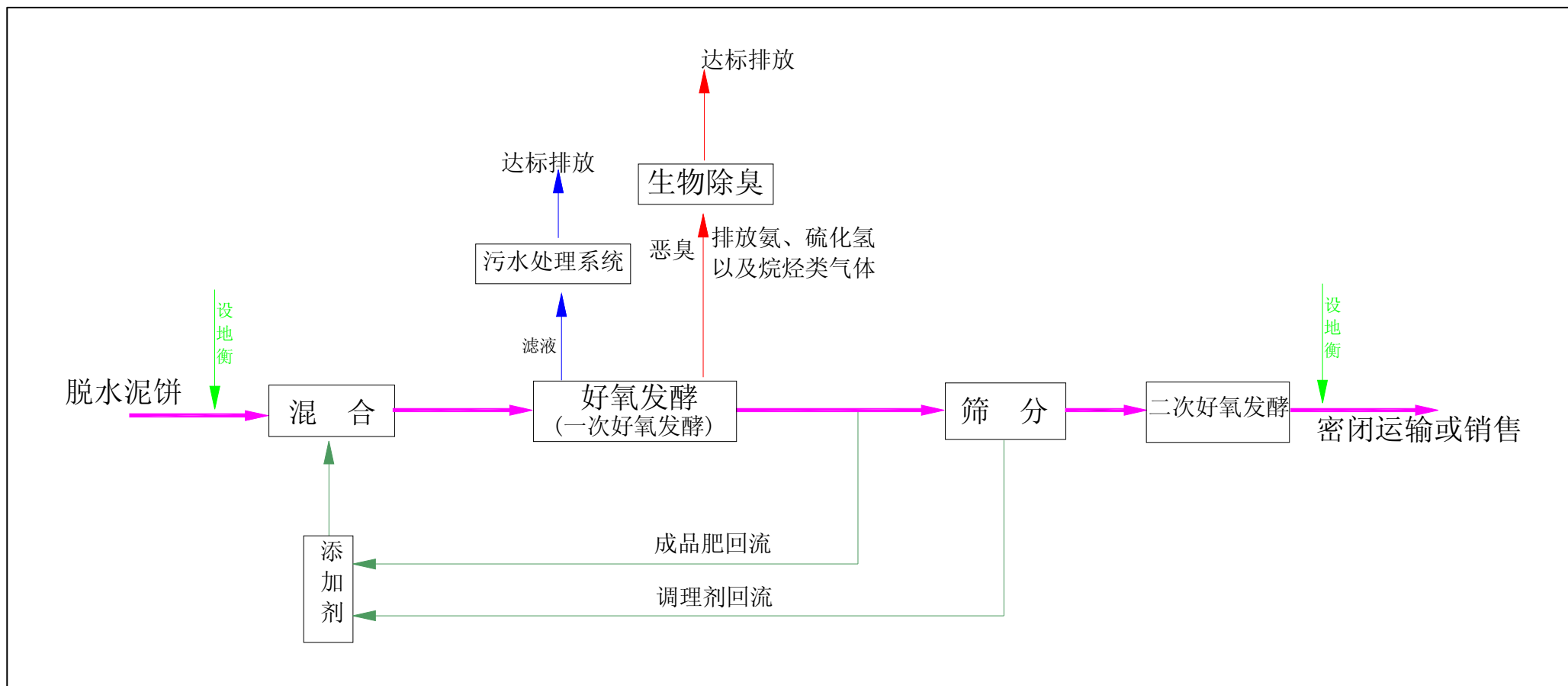


图 7-2 污泥好氧发酵最佳可行技术工艺流程图

表 7-4 污泥发酵槽(池)式发酵最佳可行技术的运行参数

好氧发酵后的污泥产品	水平
发酵周期	阳光棚发酵槽发酵：一般每隔 1~2 天翻堆一次。温度 55℃ 以上持续 7 天左右，发酵周期为 12~15 天。
	发酵周期周期为 12~15 天
污泥的含水率	35%~45%
污泥的有机物降解率	≥50%
能源消耗	7~15w/m ³

- (4) 土地资源紧张，周围有环境敏感点的地区采用发酵方式处理污泥，须采用密闭式发酵工艺。如果发酵前处理采用自然晾晒工序，应充分考虑当地自然气候条件。北方干旱、半干旱地区可充分利用干燥的自然气候条件，减少工程投资和运行费用。南方地区选择自然晾晒工序须慎重。
- (5) 污泥产品必须设置监测系统，严格控制污泥产品的质量。加强污泥重金属物质的监测，对蛔虫卵死亡率、粪大肠菌值等无害化卫生指标进行监测。符合要求的污泥发酵产品才可以进行出厂、销售或施用。
- (6) 发酵过程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。有条件的须在线监测。
- (7) 不能满足防护距离的单独建设发酵场(厂)或在污水处理厂内建设的污泥发酵场(厂)，需采用完全封闭的高效发酵工艺，厂房需采用微负压设计，并采取生物除臭法。
- (8) 污泥发酵场(厂)不在污水处理厂内时，应获得有关部门的许可，采用良好密封的运输车辆或船舶输送污泥，避免在运输过程中对城市环境造成二次污染。污泥运输采用联单制，并对污泥量有计量设施。

3、达到的污染物排放水平及管理要求

- (1) 经发酵后的污泥产品应满足：
 - 蠕虫卵死亡率>95%
 - 粪大肠菌群菌值>0.01
 - 种子发芽指数≥70%
- (2) 固态好氧发酵中添加常规的钝化剂，包括膨胀材料和天然吸附物质，使离子态重金属含量降低，削弱重金属的危害作用。还可以向污泥中掺加腐质酸类物质(如腐质酸钠)降低重金属对土壤的危害。污泥发酵产品符合污泥土地利用的要求。
- (3) 污泥发酵工程除臭工程量大，宜选择生物除臭有效去除发酵废气中的恶臭气体(NH₃、H₂S、SO₂ 以及烷烃类气体)。经过合理设计发酵场(厂)恶臭可以达到《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)要求。

- (4) 露天和密闭设置的发酵场(厂)产生的污水需通过回流到污水处理厂或自建处理装置处理达标后排放。

7.3 污泥处置最佳可行技术

7.3.1 污泥土地利用最佳可行技术

1、最佳可行技术工艺流程

污泥土地利用最佳可行技术主要技术关键内容为将经处理后的污泥或污泥产品应用于城市园林绿化、苗圃、林用、土壤修复及改良等，不包括污泥农用。污泥土地利用最佳可行技术工艺流程见图7-3。

为了控制污泥土地利用过程的环境影响，污泥土地利用需采用预处理、控制施用量等技术措施来达到污泥土地利用对环境的要求。

2、污泥土地利用最佳可行技术适用条件及运行要求

- (1) 土地资源丰富的地区可以采用污泥土地利用处置消纳污泥，土地利用应根据本地区的资源情况进行统筹考虑。
- (2) 污泥土地利用监测的对象为污泥、污泥施用后的土壤、土壤中的植物等。须加强对污泥本身的监测，符合准入条件的污泥才允许施用。污泥进行土地利用须进行环境影响评价。
- (3) 污泥城市园林绿化施用一般在绿化种植前，须避开降水期和夏季炎热气温条件下施用。没有到达稳定化要求的产品不能直接使用。使用前可将污泥或污泥与土壤混合物堆置一段时间(堆置时间一般>5d)。绿地直接施用时，应在种植前在土方上方均匀撒上污泥，然后结合整地翻入土内，使污泥和土壤均匀混合，有条件的可以再有污泥翻入土中后，浇少量水使土壤和污泥充分混合。
- (4) 污泥作为苗圃基地介质土的形式主要有林圃、花圃以及草坪基地等。经过稳定的污泥在不影响盆栽苗圃生产的情况下，可全部采用污泥产品作为苗圃基地种植介质土。
- (5) 污泥林用施用时间要综合考虑气候状况和林龄。可选择在树木砍伐后的林地施用、树苗期施用、成树期施用。施用方式可采用灌溉(喷灌和自流灌溉)、翻土作垄和梨沟等形式。雨季和冰冻期禁止污泥施用。污泥林用施用场地坡度宜小于 6%；场地坡度为 6%以上限制施用污泥。对于坡度低于 6%的污泥施用场地，应采取一定防护措施，防治雨水冲刷、径流对地表水体及附近环境的污染。

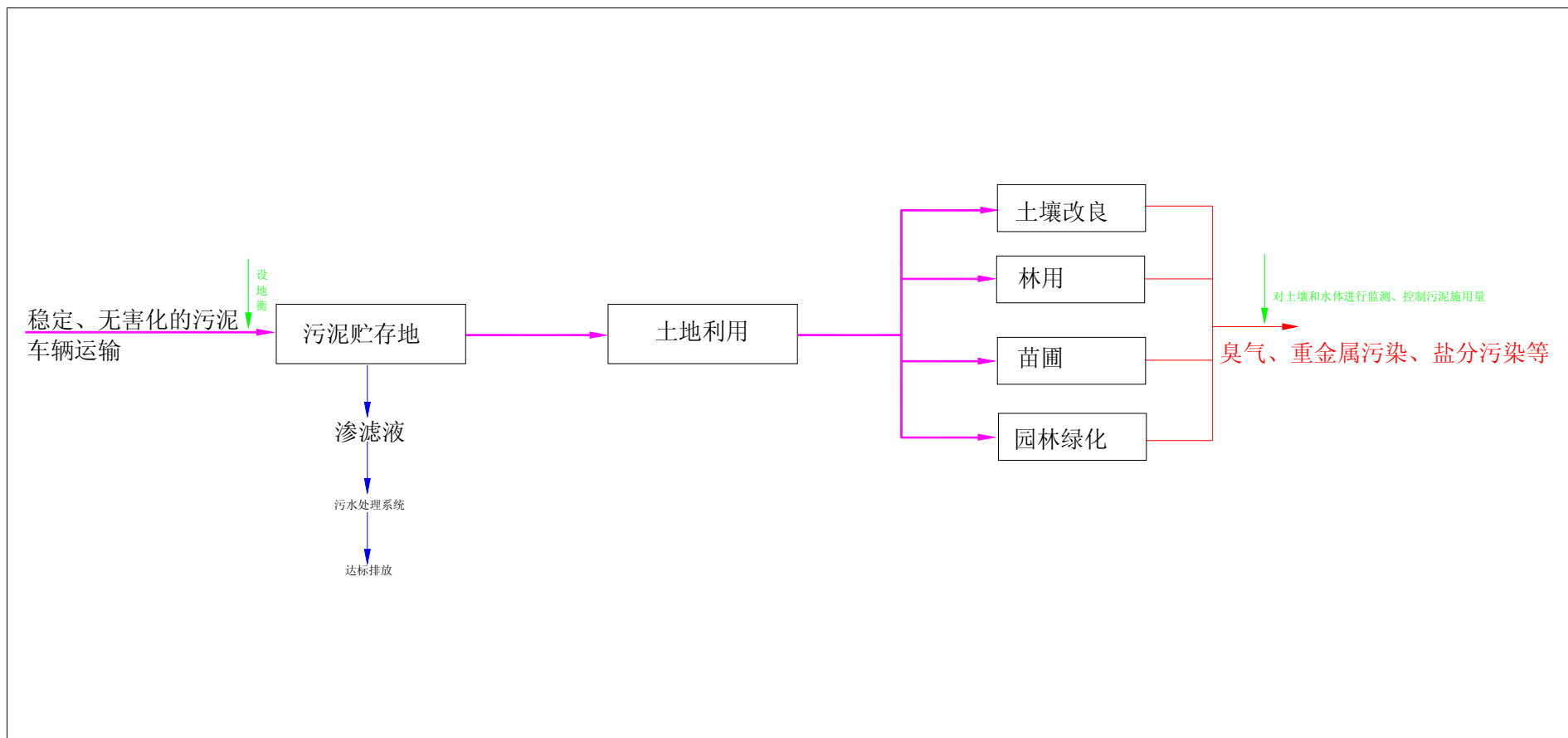


图7-3 污泥土地利用最佳可行技术工艺流程图

- (6) 将污泥用于受损土壤的修复与改良时，施用液态污泥时须做好围挡，防止污泥溢流后对环境的污染。污染物控制指标按酸性土壤执行，施用的污泥应稳定并无明显恶臭，施用量根据具体受损土壤酌情减量。施用污泥修复和改良后的土壤须采取覆盖、深翻或用客土法等措施，避免污泥过度积累而影响土壤的修改和改良。
- (7) 污泥大量土地使用后，不应流入周围沼泽或水域。水、冰或雪覆盖地区土地使用污泥之前，土地应用者应该确保有效的径流控制，阻止污泥流入到水域。禁止在任何水域附近(最近距离 10 米)的草坪，森林或开垦地使用大量污泥。污泥林用可以采用保护性施用、渗透沟、过滤带、梯田、植草排水沟等措施使污泥径流达到最小。
- (8) 建立有效的污泥管理系统，尤其是进行大面积的林用；将污泥大面积的林用和土壤改良时须设置对污泥中污染物累积量监测的追踪体系，对污泥异地使用的监控，对污泥土地利用的去向和信息有详细的了解。污泥土地利用采用联单制。
- (9) 污泥提供者须和污泥使用者签订相关合同，明确污泥土地利用产生的短期或长期负面影响由污泥提供方负责。污泥提供方须委托有资质的监测单位在污泥施用前对污泥施用场地的土壤、地下水、大气环境背景值进行监测，并报当地环境保护主管部门备案。施用后对施用污泥的土壤、地下水以及作物等进行长期定点监测，保存记录 5 年以上。

3、达到的污染物排放水平及要求

- (1) 污泥须采用密闭车辆进行运输，有专用的污泥堆存、存储设施和场所。贮存设施须采取防止渗漏、溢流以及阻止降水进入的措施。渗滤液集中收集达标排放。
- (2) 土地利用的污泥应达到无害化和稳定化指标，重金属及有机污染物应满足表 7-6 的要求，其它指标须满足表 7-5 的要求。

表 7-5 污泥土地利用最佳可行技术的施用污泥污染物限值(单位: mg/m³)

项 目	最高容许含量	
	在酸性土壤上 (pH<6.5)	在中性和碱性土壤上 (pH≥6.5)
镉及其化合物(以 Cd 计)	5	20
汞及其化合物(以 Hg 计)	5	15
铅及其化合物(以 Pb 计)	300	1000
铬及其化合物(以 Cr 计)	600	1000
砷及其化合物(以 As 计)	75	75
硼及其化合物(以 B 计)	150	150
矿物油	3000	3000
苯并(a)蒽	3	3
铜及其化合物(以 Cu 计)	250	500
锌及其化合物(以 Zn 计)	100	200

表 7-6 污泥土地利用最佳可行技术施用污泥其它指标要求

施用的污泥品质		相关要求	备注
无害化指标	污泥臭度	<2 级	
	大肠杆菌数量	<1000MPN/g 干污泥	MPN : Most Probable Number(最可能值)
	粪大肠菌群菌值	>0.01	
	肠道病毒	<1MPN/4g 干污泥	
	蛔虫卵死亡率	>95 %	
	种子发芽指数	≥75%	
	pH	5.5~8.5	
	含水率	≤45%	
稳定化指标	有机物降解率	>40%	
	挥发份	>15%	

7.3.2 污泥焚烧最佳可行技术

1、最佳可行技术工艺流程

污泥焚烧最佳可行技术主要技术关键内容为干化+焚烧技术，同时包含污泥预处理过程、烟气处理、烟气余热利用、废水收集处理以及灰渣、飞灰收集处理环境管理实践等相关内容。污泥焚烧最佳可行技术工艺流程图见 7-4。

污泥焚烧关键技术包含：干燥器、干污泥贮存仓、焚烧炉、烟气处理系统、烟气再循环系统、废水收集处理系统、灰渣、飞灰收集处理系统等。同时包括污泥干化预处理和污泥焚烧余热利用等。

2、污泥焚烧最佳可行技术适用条件及运行管理要求

- (1) 大中型城市且经济发达的地区或大中型污水处理厂和部分污泥中有毒有害物质含量较高的污水处理厂采用污泥焚烧技术；其它条件成熟的地区也可以采用污泥干化焚烧技术处置污泥。
- (2) 污泥干化焚烧厂的选址优先考虑就近原则，大型污水处理厂在建设前应统筹考虑建设污泥焚烧设施，避免远距离输送。充分利用附近稳定热源对污泥进行干化焚烧。
- (3) 污泥焚烧厂污泥实施联单制管理，设立入厂污泥质量限制要求，对入厂污泥进行监测、取样、化验。
- (4) 防止贮存污泥量超过贮存装置容积。脱水污泥贮存区应加盖并保持微负压状态，将脱水污泥贮存区(包括贮存罐和贮存仓)空气抽作焚烧炉助燃空气，有效控制臭气污染。
- (5) 污泥焚烧运行应满足表 7-7 的要求。

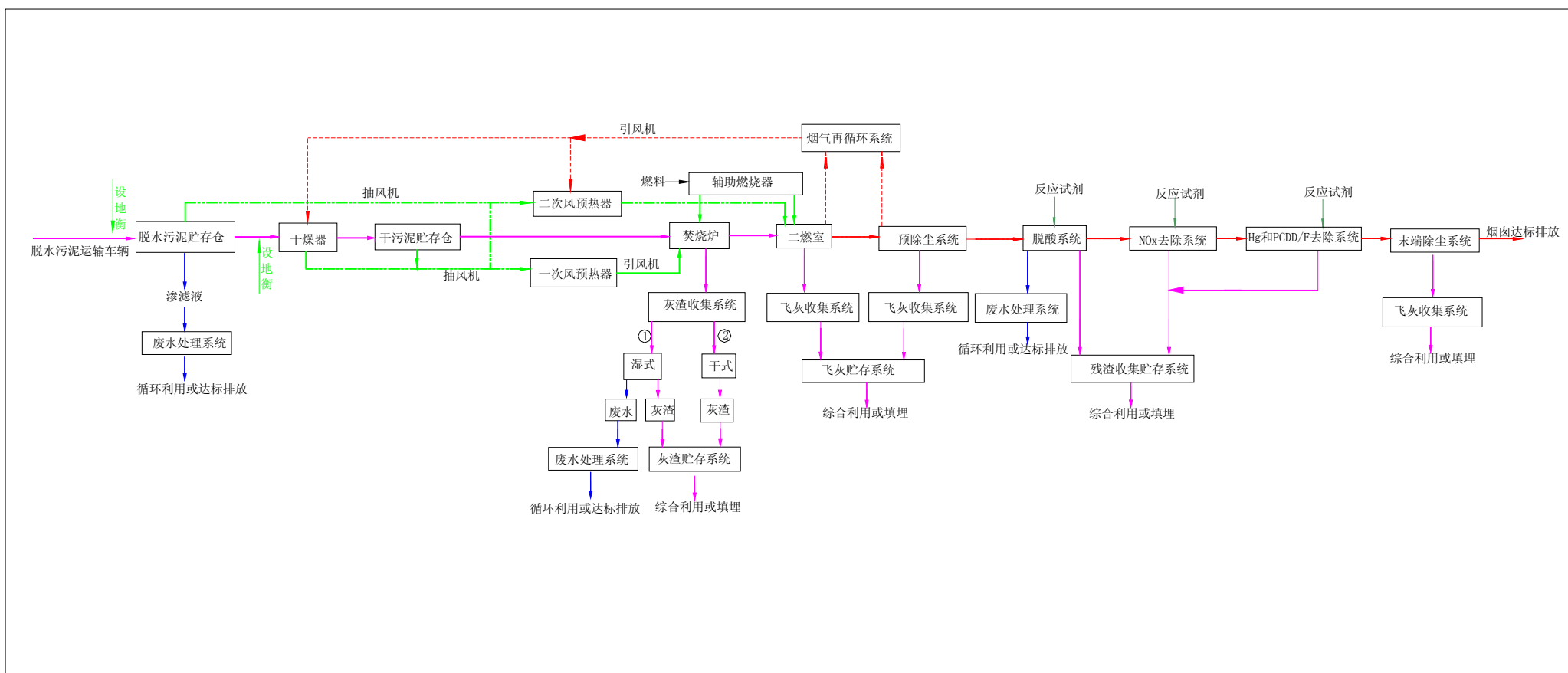


图 7-4 污泥干化焚烧最佳可行技术工艺流程图

表 7-7 污泥焚烧最佳可行技术运行条件要求

项目	管理要求	备注
焚烧方式	半干化+焚烧	干化采用间接式的转盘干燥工艺为最佳
焚烧炉的选择	循环流化床炉	常规污水污泥
	多膛炉	重金属含量较多且超标的污水污泥
焚烧余热	利用烟气余热干化污泥	
运行要求	1)优化空气供给计量系数、一次风和二次风的供给和分配优化；优化燃烧区域内停留时间、温度、紊流度和氧浓度等，防止过冷或低温区域。 2)主焚烧室有足够的停留时间(>2 秒)和湍流混合，气相温度 850~950°C 为宜，以实现完全燃烧。 3)安装自动辅助燃烧器是使焚烧炉启动和运行期间燃烧室中保持必要燃烧温度。 4)火灾自动监测及报警系统。	
其它	1)建立对关键燃烧参数的监测系统 2)安装自动辅助燃烧器	

3、达到的污染物排放水平及管理要求

(1) 污泥焚烧最佳可行技术主要的环境问题为烟气排放，污泥焚烧最佳可行技术必须符合表 7-8 的污染物限值要求。

表 7-8 污泥焚烧最佳可行技术排放污染物最佳限值(单位：mg/m³)

项 目	排放水平	最佳的去除技术	备注
粉尘	100~300mg/m ³	旋风除尘器、多级旋风除尘器	用作预处理
	<5~25mg/m ³	静电除尘器(ESP)	常作预除尘设备，常用在烟气除尘设备之后
	<1~5mg/Nm ³	袋式除尘器	常作为烟气净化系统的末端设备
酸性气体 (日均值)	HCl 3~10 mg/Nm ³	半湿式净化系统	
	HF <1 mg/Nm ³		
	SO ₂ <20 mg/Nm ³		
二噁英及其前驱物(P CDD/PCDF)	<0.1ng TEQ/Nm ³)		各部分都有去除的效果
Hg	<0.05mg/Nm ³	在采用半湿式和干式烟气处理系统 (FGT) 控制 Hg 排放	
NOx	70~180mg/m ³	SCR	

(2) 污泥焚烧污染物有效控制见表 7-9 的相关要求。

(3) 焚烧炉不运行期间(如维修)，避免污泥贮存过量，通过选择性的气味控制系统来提取相关空气(如采用掩臭剂等)措施控制贮存区臭气(包括其它潜在的逸出气体)。

(4) 预除尘+酸性气体去除技术+末端除尘技术+SCR 系统是焚烧烟气处理最佳可行技术之一。

表 7-9 污泥焚烧最佳可行技术污染控制要求

项目	管理要求	备注
污染控制	在除尘器中充填含碳物质、活性炭或焦炭	烟气中的 PCDD/PCDF 含量可降低 70%。
	优先选用袋式除尘器作为烟气净化系统的末端设备	
	宜选用旋风除尘器和干式静电除尘器(ESPs)作为烟气预除尘工艺	去除粗颗粒以降低后续处理设备负荷
	烟气中酸性气体含量较高时，宜采用湿式净化系统	需对烟气进行预除尘以防止堵塞
	喷雾洗涤器与袋式除尘器组合使用(半湿式净化)能提供很高的去除效率，其中加入碱性试剂或活性炭	碱性试剂去除酸性气体，活性炭去除 PCDD//PCDF
	有效控制汞排放 1)在第一阶段添加特定试剂去除离子态 Hg 时，要求将低 pH 值 2)采用活性炭注射工艺 3)采用活性炭或焦炭过滤器工艺	
	1)灰渣与飞灰进行分类收集和存储，污染物的含量和浸出性进行评价 2)飞灰的处理技术：水泥固化、玻璃化或催化还原法	为危险废物按危险废物安全处置
	产生的废水进行再循环利用	废水主要有对烟气净化过程中产生的废水，锅炉排出的水等
减少总 PCDD/F 向所有环境介质的排放措施	1)选择合理的预处理方式。 2)优化焚烧炉设计和运行控制	避免在 250~400℃ 的范围内去除粉尘。

第八章 结论说明和建议

由各企事业单位和污泥研究机构的专家组成的技术工作组都参与了资料交流。

收集了大量的信息，包括污泥处理处置工艺、污染物排放、能源消耗水平等。但是对于最好和最坏性能的专门信息或图表则难以获得。

有关成本的数据通常难以确切了解包括哪些项目或如何计算得来的，因此仅具有数量级上的意义。

建议本导则三年进行一次更新，特别是污泥焚烧产生的烟尘、二噁英消减问题。在本导则中没有深入讨论的问题，也将在更新本导则时予以考虑和讨论。