

附件三：

## 《城镇污水处理厂污泥处理处置技术规范》

### 编制说明

(征求意见稿)

《城镇污水处理厂污泥处理处置技术规范》编制组

二〇〇八年十二月

# 目 录

1	任务来源.....	1
2	编制目的及意义.....	1
3	标准制订的依据、原则和技术方法.....	1
3.1	编制依据.....	1
3.2	编制原则.....	1
3.3	技术路线.....	2
4	工作思路.....	3
4.1	资料查阅.....	3
4.2	基础调研.....	3
4.3	总纲策划.....	3
4.4	条款细化.....	4
4.5	初稿审定.....	4
4.6	修改完善.....	4
4.7	文件提交.....	4
5	规范中主要技术内容说明.....	4
5.1	适用范围.....	4
5.2	规范引用文件.....	4
5.3	术语和定义.....	5
5.4	处理处置的一般要求.....	7
5.5	污泥的产生和计量.....	8
5.6	城镇污水处理厂污泥处理处置过程中的恶臭污染防治.....	13
5.7	污泥稳定化处理工艺.....	14
5.8	污泥预处理工艺.....	15
5.9	污泥干化.....	15
5.10	污泥堆肥.....	19
5.11	农田利用和土地利用.....	23
5.12	污泥填埋.....	25
5.13	污泥焚烧.....	28
5.14	综合利用.....	31
5.15	运输和贮存.....	33

## 1 任务来源

本标准由原国家环保总局科技标准司 2005 年提出编制任务，由北京市环境保护科学研究院承担该标准的制订。本标准为首次制订。

## 2 编制目的及意义

随着城市人口的增长、市政服务设施的不断完善、污水处理技术的不断提高，城镇污水处理厂的污水污泥产生量不断增加，污水污泥的处理效果如何成为关系人类环境的重要问题，目前世界各地对此均予以高度重视。

污泥处理是城市污水处理厂环境功能的保障和深化。从原理上讲，城市污水处理是将污水中悬浮态、胶体态或溶解态的物质(有机物或营养物质)转化为固体，并从液相中析出的过程。活性污泥中含有大量有机物质及营养物、病原菌、寄生虫卵、重金属和某些有毒有害难降解有机物质等，同时具有含水率高、体积大、易腐败、产生恶臭、比重较小、颗粒较细等特点。因此，从某种意义上讲，城市污水处理厂只是对污水中的有毒有害物质的一种富集或转化，而不是完全的处理过程，任何污水处理过程都必然会产生污泥。污泥处理是水污染控制和水环境保护的重要部分，因此，污泥处理和处置已成为污水处理厂和城市环境卫生的重要大事。

我国自 20 世纪 90 年代末以来，城市污水处理事业迅速发展，城市污水处理厂由 400 多座发展到 2005 年的 708 座，年产污泥近 60 万 t(干物质计)，根据 2010 年远景规划，到 2010 年全国污水处理厂数量将会达到 2000 座左右，污水处理率达到 50%，相应产生的污泥量约为 1000 万 t/年。而当前在全国现有污水处理设施中有污泥稳定处理设施的还不到 1/4，处理工艺和配套设备较为完善的还不到 1/10，能够正常运行的为数不多，污水污泥如不加以合理处理、处置和利用，将会造成严重的环境问题。

但是由于目前我国关于污水厂污泥处理的相关政策、标准与规范缺失，由此造成污泥处理、处置滞后于污水处理水平。为促进和规范污水污泥的处理处置，避免城镇污水厂污泥管理成为城市环境管理中的新盲点，制订《城镇污水处理厂污泥处理处置技术规范》是十分必要的。

## 3 标准制订的依据、原则和技术方法

### 3.1 编制依据

(1) 技术依据：国内外城镇污水污泥处理处置污染控制方面的标准、法规及相关领域中的研究与应用成果。

(2) 本技术规范以《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》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》和《城市污水处理及污染防治技术政策》等为指导，根据环境保护部《城镇污水处理厂污水污泥处理处置技术规范》制订计划编制。

### 3.2 编制原则

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第一章第三条规定：国家对固体废物污染环境的防治，实行减少固体废物的产生、充分合理利用固体废物和无害化处置

固体废物的原则。第一章第四条规定：国家鼓励、支持开展清洁生产，减少固体废物的产生量；国家鼓励、支持综合利用资源，对固体废物实行充分回收和合理利用，并采取有利于固体废物综合利用活动的经济、技术政策和措施。

本规范的编制遵循下列原则：

#### 1、具有可执行性

对城镇污水处理厂污水污泥处理处置全过程的重点控制环节作量化规定，便于条款的执行实施。

#### 2、全过程控制

城镇污水处理厂污水污泥处理处置集水规范污染控条款涵盖城镇污水处理厂污水污泥计量、收集、运输、贮存、利用、处理和处置各环节，对各环节的污染进行规范和控制。

#### 3、科学性

标准的控制尺度，综合考虑排放污泥造成的危害与处理费用、污泥处理技术，制订科学的排放标准

#### 4、代表性、典型性

突出城镇污水处理厂污水污泥收集、运输、贮存、利用以及处理、处置、综合利用等过程的污染节点，对重点、具代表性的城镇污水处理厂污水污泥处理处置过程中的污染节点进行控制。

#### 5、资源循环利用和能量回收利用

提倡污水污泥的资源循环再利用和能量回收利用，鼓励污水污泥实现无害化、稳定化和资源化利用。鼓励尽可能实现污泥的土地利用和农业利用。

#### 6、兼顾比较成熟的污泥综合利用技术

### 3.3 技术路线

本标准的制订主要是通过资料文献调研和实地考察，充分了解城镇污水处理厂技术应用现状、污泥产生现状、污染现状及污泥处理处置和综合利用现状，处理处置技术和设施应用现状，监测水平和监测方法等，按污染物排放标准制订要求，确定标准的技术内容、控制项目和标准值，检测方法和标准的事实与监督规定。提出标准文本和编制说明征求意见稿，在广泛征求意见的基础上提出送审稿。

城镇污水处理厂污水污泥处理处置技术路线是从污水污泥的收集、运输、贮存、处理、处置和综合利用等全过程进行污染控制。

本技术规范的制订程序如下：

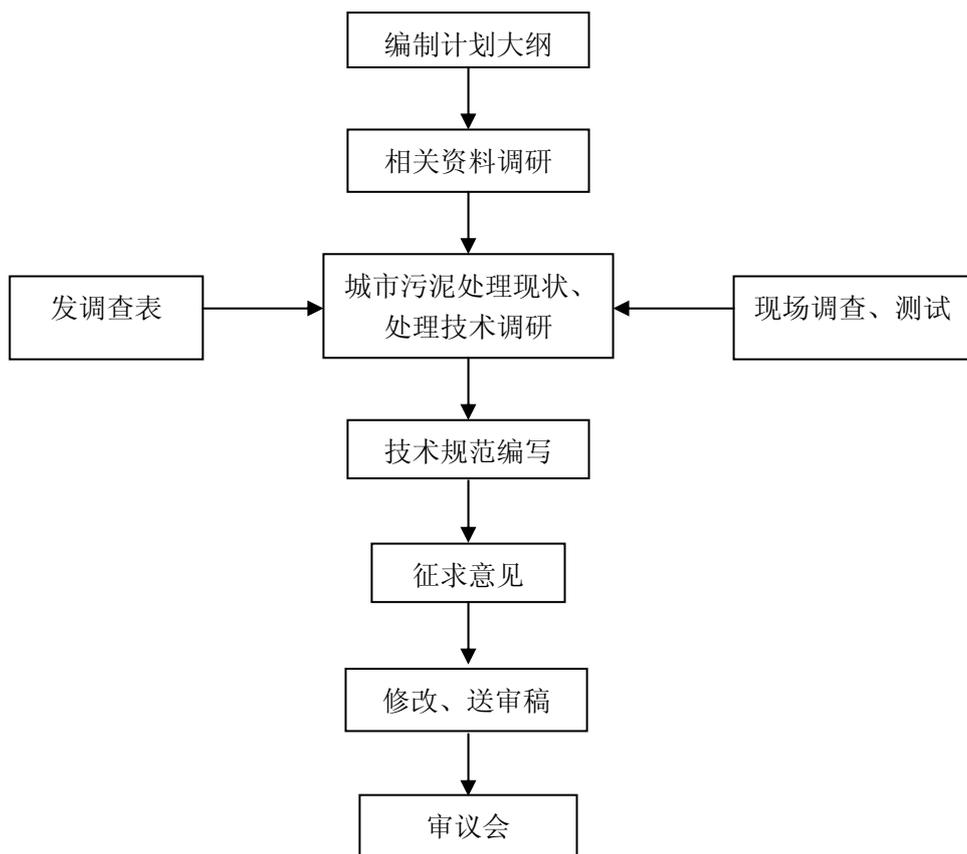


图 1-1 规范编制技术路线

## 4 工作思路

### 4.1 资料查阅

查阅国内外关于城镇污水处理厂污水污泥处理处置和综合利用的法律法规或规范性文件并进行分析研讨；了解国内外城镇污水处理厂污水污泥处理处置的发展趋势；了解国内外城镇污水处理厂污水污泥管理及处理处置技术发展历史及存在的问题。

### 4.2 基础调研

调研我国现有城镇污水处理厂污水污泥处理处置和综合利用相关法律法规执行情况存在的问题；调研我国城镇污水处理厂污水污泥产生、计量、收集、储运以及处理处置和综合利用技术现状和存在的问题；调研我国城镇污水处理厂污水污泥处理处置和综合利用工厂状况及城镇污水处理厂污水污泥处理处置和综合利用设备设施的运营情况。

### 4.3 总纲策划

在资料查阅、实际调研和专家研讨的基础上对我国城镇污水处理厂污水污泥管理、处理、处置和综合利用进行全面分析，针对城镇污水处理厂污水污泥管理、处理、处置和综合利用过程中存在的和将存在的问题提出解决办法和执行标准，规范城镇污水

污水处理厂污水污泥产生、收集、储运、处理、处置和综合利用行为，实现我国城镇污水处理厂污水污泥稳定化、减量化、无害化和最终安全处置与综合利用管理。

#### 4.4 条款细化

在总纲的基础上将城镇污水处理厂污水污泥计量、收集、运输、贮存、处理、处置和综合利用等全过程的污染控制要求进行内容和条款进行细化，力求详细完整。

#### 4.5 初稿审定

提交《我国城镇污水处理厂污水污泥处理处置技术规范》初稿，组织聘请专家评审。

#### 4.6 修改完善

在专家评审意见的基础上对《我国城镇污水处理厂污水污泥处理处置技术规范》初稿进行修改形成征求意见稿，报环境保护部征求公众和各部门的意见。

#### 4.7 文件提交

对征求意见稿进行汇总处理，提交《我国城镇污水处理厂污水污泥处理处置技术规范》送审稿，审查完毕后根据审查意见完成报批稿。

### 5 规范中主要技术内容说明

#### 5.1 适用范围

本标准规定了城镇污水处理厂污水处理过程中产生污泥的产生、运输、堆置、处理、最终处置、贮存和综合利用等环节的技术要求。

本标准适用于城镇污水处理厂污泥处理处置规划、设计、运行和管理。与城镇污水性质类似的污水处理过程中产生的污泥的处理处置可参照执行。

本标准不适用于污泥经鉴定为危险废物的污泥处理。

#### 5.2 规范引用文件

本规范引用的相关规范和有关的标准，直接引用了其中的内容。相关标准所包含的条文，通过在本规范中引用而构成本规范的条文，与本规范同效。引用的相关标准，当其被修订时，应使用其最新版本。

GB14554	恶臭污染物排放标准
GB7959	粪便无害化卫生标准
GB8172	城镇垃圾农用控制标准
GB11641	轻型汽车排气污染物排放标准
GB5748	作业场所空气中粉尘测定方法
GB18918	城镇污水处理厂污染物排放标准

GB15618	土壤环境质量标准
CJJ17	城市生活垃圾卫生填埋技术规范
GB13223	火电厂大气污染物排放标准
GB4915	水泥工业大气污染物排放标准
GB18485	生活垃圾焚烧污染控制标准
GB12348	工业企业厂界噪声标准
GB5085	危险废物鉴别标准
GB6763	建筑材料用工业废渣放射性物质限制标准
GB5101	烧结普通砖
JC/T622	硅酸盐建筑制品用砂
GB175	通用硅酸盐水泥
GB2838	粉煤灰陶粒和陶砂标准
GB/T17431.1	轻集料及其试验方法
GB5086.2	固体废物浸出毒性浸出方法
GB9078	工业炉窑大气污染物排放标准
JT3130	汽车危险货物运输规则
CJ3025	城市污水处理厂污水污泥排放标准
GB3095	环境空气质量标准
GB16297	大气污染物综合排放标准
HJ/T166	土壤环境检测技术规范
GB12801	生产过程安全卫生要求总则
GB4387	工业企业厂内铁路、道路运输安全规程
	中华人民共和国道路运输条例
	道路危险货物运输管理规定

### 5.3 术语和定义

#### 5.3.1 术语和定义中 3.1 是关于“城镇污水处理厂”的定义

界定“城镇污水处理厂”所指范围，为“城镇污水处理厂污泥”的定义做铺垫。该定义引自《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918—2002）。

#### 5.3.2 术语和定义中 3.2 是关于“城镇污水处理厂污泥”的定义

在现行的相关国家标准中，《农用污泥中污染物控制标准》（GB4284-84）所指的污泥概念包括污水处理厂产生的污泥、水体疏浚产生的污泥和市政排水系统通沟产生的

污泥，而《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）没有对污泥概念进行定义。

城镇污水处理厂中的栅渣、浮渣和沉砂池砂砾由于处置手段与生活垃圾更为相象，因此排除在本标准所指污泥之外。

### 5.3.3 术语和定义中 3.3 和 3.4 是关于“污泥处理和污泥处置”的定义

对于污泥处理和污泥处置的定义及分类，在国内外都是不存在统一定义的。通过对国内外的标准及文献的检索，污泥处理和污泥处置主要有以下几种定义或分类：

（1）《给水排水标准规范实施手册》，中国建筑工业出版社，1993年10月

污泥处理：对污泥进行浓缩、调理、脱水、稳定、干化或焚烧的加工过程。

污泥处置：对污泥的最终安排，一般将污泥做农肥、制作建筑材料、填埋和投弃等。

（2）中国大百科全书，“土木工程”卷

污泥处置：污水厂污泥经处理后，犁入土壤（肥田）、投海、填地（掩埋）或弃置。

（3）杭世珺等 污泥处理处置的认识误区与控制对策 中国给水排水 No.12,2004 Vol.20

污泥处理：污泥经单元工艺组合处理，达到“减量化、稳定化、无害化”目的的全过程。

污泥处置：经处理后的污泥，弃置于自然环境中（地面、地下、水中）或再利用，能够达到长期稳定并对生态环境无不良影响。

（4）美国环保局，Standards for the use or disposal of sewage sludge（40CFR Part503）

美国的标准中没有明确的分类，但涉及污泥处置的内容共分三大章节：土地利用（Land application）、地面处置（Surface disposal）和焚烧（Incineration）。

（5）欧洲环保署（European Environment Agency）文件——Sludge Treatment and Disposal Management Approaches and Experiences, Environmental Issues NO.7

其中对污泥处置工艺的分类如下：agricultural use（农用）、incineration（焚烧）、industrial use（建筑材料利用等）和 landfill（填埋）。

（6）日本下水道协会《下水道设施规划、设计指引和解说》（2001）

没有区分污泥处理和污泥处置，将污泥输送、污泥浓缩、污泥消化、污泥脱水、污泥干燥、污泥焚烧、污泥熔融、污泥堆肥和污泥利用等均归纳在第五章污泥处理中，在污泥利用一节中，又分为绿地农地利用、建筑材料利用、能量利用和填埋。

关于这两个术语的定义，在标准编制过程中编制组查阅了大量资料，同时征询了多位专家的意见，其中争执的焦点为，焚烧到底属于污泥处理还是污泥处置。编制组汇总了各方征集的意见，对本标准“污泥处理”和“污泥处置”定义如下：

污泥处理：对污泥进行稳定化、减量化和无害化处理的过程，一般包括浓缩（调理）、脱水、厌氧消化、好氧消化、堆肥和干化等。

污泥处置：对污泥的最终消纳，一般包括土地利用、填埋、建筑材料利用和焚烧等。

#### 5.3.4 术语和定义中 3.5 是关于“污泥堆肥化过程”的定义

《生活垃圾堆肥厂运行管理规范》(DB11/T 272—2005)对堆肥化的定义为:利用微生物的分解作用,使废物中有机物质稳定化的过程。

《粪便无害化卫生标准》(GB 7959-87)中有关堆肥的定义是:以垃圾、粪便为原料的好氧性高温堆肥(包括不加粪便的纯垃圾堆肥和农村的粪便、秸秆堆肥)。

通常认为堆肥就是指一种肥料,事实上,堆肥仅仅是一种工艺过程,而不是一种产品。

因此,为了避免概念混淆,本标准将“堆肥”与“堆肥化”区分开来,以更好的体现堆肥化是指一种工艺过程的表述,其定义如下:

指在控制条件下,利用微生物的生化作用,将污泥中的有机物质分解、腐熟并转化为稳定腐殖土的过程。

#### 5.3.5 术语和定义中 3.6 是关于“污泥土地利用”的定义

美国环保局的 40CFR Part503 中对土地利用的定义为:将污泥在土地上有效利用的消纳方式。

本标准对污泥土地利用的定义为:将处理后的污泥作为肥料或土壤改良材料,用于园林、绿化、林业或农业等场合的处置方式。

#### 5.3.6 术语和定义中 3.7 是关于“污泥农业利用”的定义

在很多国内外的标准和规范中,污泥农业利用均是指土地利用中的一种,但是编制组认为,由于农作物与食物链密切相关,理应遵循更高的标准要求,因此,将污泥农业利用重新进行定义,即:

经处理后的污泥或污泥产品作为肥料或土壤改良材料应用于农业生产作物和果蔬(包括谷物、水果、蔬菜、植物油作物、草料等)。

#### 5.3.7 术语和定义中 3.8 是关于“污泥填埋”的定义

美国对填埋的定义为:将固体废弃物埋于低地的固体废弃物处置方式。

《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》标准中的定义为:采取工程措施将处理后的污泥集中堆、填、埋于场地内的安全处置方式。

本标准对污泥填埋的定义为:指运用一定工程措施将污泥埋于天然或人工开挖坑地内的安全处置方式。这里的工程措施是指防渗、覆盖、渗滤液处理等一系列操作,以达到避免对地下水和周边环境造成污染的目的。

#### 5.3.8 术语和定义中 3.9 是关于“污泥焚烧”的定义

本标准基本沿用了《室外排水设计规范》中的定义:利用焚烧炉高温氧化污泥中的有机物,使污泥成为少量灰烬的污泥处置方式。

#### 5.3.9 术语和定义中 3.10 是关于“污泥综合利用”的定义

本规范定义为将经处理后的污泥作为制作建筑材料(砖、陶粒、水泥、混凝土)、活性炭、生化纤维板等部分原料的处置方式。

### 5.4 处理处置的一般要求

污泥是在污水处理过程中产生的,其产生量、组成和性质与污水处理工艺、污水

水质特点等有着密切的关系，同时污泥的处理和处置过程之间也存在着密不可分的关系，处理工艺和处理效果的好坏直接对处置过程造成影响，因此必须体现全过程控制的原则。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第一章第三条规定：国家对固体废物污染环境的防治，实行减少固体废物的产生、充分合理利用固体废物和无害化处置固体废物的原则。第一章第四条规定：国家鼓励、支持开展清洁生产，减少固体废物的产生量；国家鼓励、支持综合利用资源，对固体废物实行充分回收和合理利用，并采取有利于固体废物综合利用活动的经济、技术政策和措施。由此，确定了我国城镇污水处理厂污水污泥处理、处置的总原则。

由于我国幅员辽阔，各地区在经济发展水平、城市污水处理厂规模、居民生活习惯、自然气候条件等方面存在着非常大的差异，因此在对污泥处理处置技术的选择方面，必然不是铁板一块，必须要结合各地区自身的特点进行确定，从而达到高水平保护整体环境的目的。

对规划、设计和建设城市污水污泥处理处置设施的要求，并重申“三同时”原则，必须要综合考虑各种可能对环境造成的影响，结合实际特点，确定合理的规划，使城镇污水污泥处理处置项目的建设对环境造成的影响降至最低。

污泥原则上是一种废弃物，尽管其中含有大量的有机质和营养物质，使其具有一定的利用价值，但是污泥本身，以及处理处置的过程中，或多或少的会造成环境问题。因此，推行以最终安全处置，而不是盲目追求资源化的目标是合理的。同样，在有条件达成资源化，且符合环境要求、同时又切实有满足条件的消纳场所，如农田利用或土地利用等，当然应该优先考虑资源化，并给予一定的技术、经济和政策激励措施。但在难以找到有效、经济的土地利用等综合利用场所时，且土地资源紧张，而经济又较为发达的地区，采用干化、焚烧等技术，尤其是充分利用现有设施的混合焚烧技术，来处理处置污泥也是可以推荐的。污泥焚烧后的灰渣在符合条件的时候，应优先考虑综合利用，如用于作为水泥生产原料或掺混料等，如此，不仅可以有效实现能量回收利用的目标，也可以实现资源循环利用的目标。

## 5.5 污泥的产生和计量

### 5.5.1 污泥产生量

#### (1) 我国污水处理工艺分析

20世纪80年代之前，我国城市污水处理厂所采用的工艺大多是以普通曝气为主要构筑物的传统活性污泥法，主要是以去除BOD和SS为目标，对氮磷的去除率非常低。为了适应新的水环境及排放标准，使污水处理从过去只注重有机物去除发展到兼顾脱氮除磷功能，致使如AB法、氧化沟法、A/O工艺、A/A/O工艺、SBR法等一些具有脱氮除磷功能的活性污泥法变型工艺在实践中逐渐获得广泛应用。其他包括一级处理、强化一级处理、稳定塘法及土地处理法等。

2004年底，对我国的污水处理厂污水处理和污泥处理、处置状况开展了调查。在所调查的573个污水处理厂中，污水处理工艺较全的污水处理厂210个。污水处理厂

采用的污水处理工艺具体见表 5-1。

表 5-1 污水处理厂污水处理工艺调查统计表

污水处理工艺	传统活性污泥法	氧化沟	A <sup>2</sup> /O	A/O	AB	SBR	自然净化	其它
厂个数(个)	61	52	19	22	8	19	21	8
所占比例(%)	29.05	24.76	9.05	10.48	3.81	9.05	10.00	3.80

调查发现,我国现有城市污水处理厂 85%以上采用的是活性污泥法及其变型工艺,其余采用一级处理、强化一级处理、稳定塘法及土地处理法等。

### (2) 污水处理工艺评价与分类

理论上,各种污水处理工艺不存在优劣之分,在合理设计和科学运行的情况下,均能有效达到污水处理目标。但是活性污泥法及其变型工艺的最大缺点是会产生大量的污泥,而且不同污水处理工艺因在污染物的去除率、曝气时间、污泥负荷和容积负荷、曝气量及氧的利用率(及动力效率)、污泥产量(及污泥指数)和污泥稳定性等方面存在差别,造成采用不同工艺的城市污水处理厂在能耗,占地面积,投资和运行成本,以及污泥处理处置投资和成本方面存在很大差异。

不同污水处理工艺在污泥的产生量和污泥性质上存在差异,通常以不同污水处理工艺来划分污泥产生量,但将污水处理工艺与污水污泥产生和稳定处理方法相结合对好氧污水处理工艺进行分类却不多。为此,本规范将根据污泥产生和稳定处理方法的不同而进行将不同污水处理工艺分为三种:

1) 带预处理系统的好氧生物处理工艺,如:带有初沉池的传统活性污泥法、AB 法的 A 段、水解—好氧工艺的水解池、化学强化一级处理等。

2) 不带预处理系统的好氧生物处理工艺,如延时曝气的传统活性污泥法(包括氧化沟、SBR 等)和高负荷的活性污泥工艺。

3) 以上两种工艺中因污泥在系统内未达到稳定而后续带有污泥处理(稳定化)的工艺,如不带预处理系统的高负荷氧化沟工艺,稳定化可采用厌氧消化、好氧消化等工艺。

### (3) 不同污水处理工艺污水污泥产生量分析

#### 1) 带预处理的好氧生物处理工艺

带预处理的好氧生物处理工艺在预处理阶段和好氧生物处理阶段分别会产生两种性质的污泥,通常将之定义为初沉污泥和剩余活性污泥。不同好氧生物处理工艺在两种性质污泥的产生量上存在显著差异,由此,通常需要采用恰当的方式对两种污水污泥进行合理处理处置,如分别单独处理或混合处理。

一般设置预处理系统的好氧生物处理工艺好氧处理部分通常采用中、高负荷,此时污泥龄均较短,污泥产率较高。但是也有部分带预处理系统的好氧生物处理工艺存在泥龄较长,尽管剩余活性污泥的产率较低,但预处理系统污泥产率较高,如带预处理系统的高负荷氧化沟工艺。

#### A) 预处理工艺污泥产量

预处理系统主要是指包括初沉池、调节池、水解酸化池、AB法A段、强化一级处理等工艺在内的、通过自然沉淀或絮凝吸附沉淀等物理或化学方法去除大部分SS和部分悬浮颗粒态或溶解态COD与BOD的工艺。其污泥产生量主要与污水流量和进出水悬浮物浓度有关，通常可按下列公式进行计算：

$$\Delta X_1 = \alpha \cdot Q(SS_i - SS_o) \quad (5-1)$$

式中：

$\Delta X_1$ ：预处理系统污泥产生量，kg/d；

$\alpha$ ：系数，根据经验，一般初沉池 $\alpha = 1.0$ ，AB法A段 $\alpha = 1.3$ ，水解工艺 $\alpha = 1.2$ ，化学强化一级处理工艺 $\alpha = 1.5 \sim 2.0$ ；

Q：污水流量， $m^3/d$ ；

$SS_i$ 和 $SS_o$ ：分别为进出水悬浮物浓度， $kg/m^3$ 。

B) 好氧生物处理部分污泥产率

a) 部分教科书中的计算公式：

$$\Delta X = \frac{(aQS_r - bX_vV)}{f} \quad (5-2)$$

式中：

$\Delta X$ ：剩余活性污泥量，kg/d；

f：混合液挥发性悬浮固体与混合液悬浮固体的比值，即MLVSS/MLSS之比值。

对于生活污水，一般在0.5~0.75；

Q：污水量， $m^3/d$ ；

$S_r = S_a - S_e$ ：有机物浓度降解量， $kg/m^3$ 。 $S_a$ 、 $S_e$ 曝气池进水，出水有机物(BOD)浓度， $kg/m^3$ ；

V：曝气池容积， $m^3$ ；

$X_v$ ：为混合液挥发性固体浓度， $kg/m^3$ ；

a：污泥产生率系数(kg挥发性悬浮固体/kgBOD)，一般可取0.5-0.65；

b：污泥自身氧化率，kg/d。一般可取0.05~0.1；

对于生活污水或部分接收工业废水的生活污水，污泥龄长，a值取小，b值取大；污泥龄短，a值取大，b值取小。

b) 室外排水设计规范给出公式有两个：

按污泥龄计算的公式如下：

$$\Delta X = (V \times X) / \theta_c \quad (5-3)$$

按污泥产率系数、衰减系数及不可生物降解和惰性悬浮物计算的公式如下：

$$\Delta X = YQ(S_o - S_e) - K_d V X_v + \beta Q(SS_o - SS_e) \quad (5-4)$$

式中：

$\Delta X$ ：剩余污泥产量，kgSS/d；

V：生物反应池容积， $m^3$ ；

X：生物反应池内混合液悬浮固体浓度，gMLSS/L；

$\theta_c$ ：污泥泥龄，d；

Y：污泥产率系数(kgVSS/kgBOD<sub>5</sub>) 20°C时为0.4~0.8；

Q: 设计平均日污水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

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

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

$K_d$ : 衰减系数,  $\text{d}^{-1}$ ;

$X_v$ : 生物反应池内混合液挥发性悬浮固体平均浓度,  $\text{gMLVSS}/\text{L}$ ;

$\beta$ : SS 的污泥转化率, 宜根据试验资料确定, 无试验资料时可取  $0.5 \sim 0.7$   
 $\text{gMLSS}/\text{gSS}$ ;

$SS_o$ : 生物反应池内进水悬浮物浓度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$SS_e$ : 生物反应池内出水悬浮物浓度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

c) 给水排水设计手册第五册城镇排水给出的污泥产量计算

$$\Delta = YQL_r - K_d V N_{wv} = YQL_r / (1 + K_d \theta_c) \quad (5-5)$$

式中:

$\Delta$ : 系统每日产泥量,  $\text{kg}/\text{d}$ ;

Y: 污泥产率系数 ( $\text{kgVSS}/\text{kgBOD}_5$ )  $20^\circ\text{C}$  时为  $0.4 \sim 0.8$ ;

$K_d$ : 衰减系数,  $\text{d}^{-1}$ ,  $20^\circ\text{C}$  时为  $0.04 \sim 0.75$ ;

$L_r$ : 去除的  $\text{BOD}_5$  浓度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ , 生物反应器进出水  $\text{BOD}_5$  浓度差;

V: 生物反应池容积,  $\text{m}^3$ ;

$N_{wv}$ : 混合液挥发性悬浮物浓度,  $\text{kgMLVSS}/\text{m}^3$ ;

在理论上计算不同好氧生物处理工艺的污泥产量, 需要详细考察污泥产率系数、衰减系数、污泥龄及进入好氧生物处理系统的悬浮物中不可降解和惰性组分占总悬浮固体的比例。但通常情况下, 在污水处理厂计算带预处理系统的好氧生物污水处理工艺的好氧部分污泥产量时, 都假设在预处理部分无机物已经被完全去除, 而仅有有机物进入好氧生物处理部分。由此, 我们可以推导出通常情况下, 在设置如初沉池等预处理系统的活性污泥法及其变型工艺剩余活性污泥产量的计算公式, 如下:

$$\Delta X_2 = \frac{(aQL_r - bX_v V)}{f} \quad (5-6)$$

式中:

$\Delta X_2$ : 剩余活性污泥量( $\text{kg}/\text{d}$ );

f:  $\text{MLVSS}/\text{MLSS}$  之比值。对于生活污水, 一般在  $0.5 \sim 0.75$ ;

Q: 污水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

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

V: 曝气池容积( $\text{m}^3$ );

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

a: 污泥产生率系数 ( $\text{kg}$  挥发性悬浮固体/ $\text{kgBOD}$ ), 一般可取  $0.5 \sim 0.65$ , ;

b: 污泥自身氧化率( $\text{kg}/\text{d}$ ), 一般可取  $0.05 \sim 0.1$ ;

对于生活污水, 污泥龄长, a 值取小, b 值取大; 污泥龄短, a 值取大, b 值取小。

C) 根据上述公式 5-1 和公式 5-6, 从而可得带有预处理的好氧生物处理工艺总污

泥产生量计算公式:

$$W_1 = \Delta X_1 + \Delta X_2 \quad (5-7)$$

### 2) 消化工艺

一般情况下, 无论是带预处理系统还是不带预处理系统的好氧生物处理工艺, 在系统内污泥未达到稳定的情况下, 工艺后面会带有厌氧或好氧消化稳定化处理系统。进入消化池的污泥是初次沉淀污泥和浓缩后的剩余活性污泥。消化池的污泥量决定于新鲜污泥的种类、有机物的降解程度等。由此可以得出以下公式:

$$W_2 = W_1 \cdot (1 - \eta) \left( \frac{f_1}{f_2} \right) \quad (5-8)$$

式中:

$W_1$  — 消化后污泥质量, kg/d;

$W$ : 原污泥质量, kg/d;

$\eta$ : 污泥挥发性有机固体降解率;

$f_1$ : 原污泥中挥发性有机固体含量百分比;

$f_2$ : 消化污泥中挥发性有机固体含量百分比。

### 3) 不带预处理的好氧生物处理工艺

一般为带有污泥稳定功能的延时曝气传统活性污泥法(包括部分氧化沟工艺、SBR 工艺)和带有硝化功能的活性污泥工艺。该种工艺是污水直接进入生物处理系统, 一般污泥龄均较长, 污泥负荷较低, 污泥产率系数较小, 产泥量较少, 污泥性质较为稳定, 根据经验, 通常延时曝气和中负荷的活性污泥法污泥负荷和污泥产率如表 5-2 所示。

表 5-2 工艺参数

工艺要求	污泥负荷	污泥产率(kgSS/kgBOD <sub>5</sub> )	耗氧量
延时曝气工艺	0.05~0.15	0.5	1.4~1.8
中负荷工艺	0.2~0.6	0.6~0.7	0.8~1.1

#### A) 剩余活性污泥产量

结合经验参数, 在理论上, 当活性污泥系统不设如初沉池之类的预处理设施时, 仅产生剩余活性污泥, 其剩余活性污泥产量可依据《室外排水设计规范》中给出得公式进行计算, 即:

$$\Delta X_3 = YQ(S_o - S_e) - K_d V X_v + fQ(SS_o - SS_e) \quad (5-9)$$

式中:

$\Delta X_3$ : 剩余活性污泥量, kg/d;

$Y$ : 污泥产率系数, kgVSS/kgBOD<sub>5</sub>, 20°C 时为 0.3~0.6;

$Q$ : 设计平均日污水量, m<sup>3</sup>/d;

$S_o$ : 生物反应池内进水五日生化需氧量, kg/m<sup>3</sup>;

$S_e$ : 生物反应池内出水五日生化需氧量, kg/m<sup>3</sup>;

$K_d$ : 衰减系数, d<sup>-1</sup>, 一般可取 0.05~0.1;

$V$ ：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 0.5~0.7  $gMLSS/gSS$ ，带预处理系统的取小，不带预处理系统的取大；

$SS_o$ ：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， $kg/m^3$ ；

B) 总污泥产量

$$W_3 = \Delta X_3 \quad (5-10)$$

### 5.5.2 污泥量的计量

当前，我国城镇污水处理厂存在的问题是，很多情况下均没有安装污泥计量装置，难以准确估算各工艺单元的污泥产生量，从而为后续处理处置工艺的设计带来问题。

通常情况下，初沉池均采用间歇排泥，初沉池排出的初沉污泥大多贮存在集泥池或浓缩池中，因此，可以考虑采用容积法进行计量，通过将计量装置，如超声波液位仪安装在集泥池或浓缩池中，监测初沉池排泥前后污泥液位的变化，从而可以知道一定时间内，初沉池的排泥体积流量。

由于很多时候，集泥池（浓缩池）中的初沉污泥是通过污泥提升泵以连续流的方式进入后续预处理或处理单元的，因此必须考虑在排泥期间污泥液位的变化。

由于有些城镇污水处理厂可能会采用生物膜污水处理工艺，而生物膜污泥的排放是间歇式的，因此，常采用容积法，通过监测生物膜污泥排泥前后液位的变化来表征生物膜污泥排泥量。

## 5.6 城镇污水处理厂污泥处理处置过程中的恶臭污染防治

恶臭广泛地产生于市政污水及污泥处理处置过程中。恶臭污染周围环境，某些恶臭气体被归类为有毒污染物，其排放受到有关空气污染法规的约束。市政污水及污泥处理处置过程产生的令人讨厌的恶臭，能使人们的心理、感官造成不愉快的气体。《恶臭污染排放标准》（GB14554—93）定义恶臭为：一切刺激嗅觉器官引起人们不愉快及损坏生活环境的气体物质。为了保护和提高各类处理现场及周围环境卫生质量，减少对空气造成二次污染，对恶臭进行有效的控制已势在必行。

### 5.6.1 恶臭来源

市政污水及污泥处理处置设施等是恶臭气体的重要来源。随着城市的不断扩大，以往建在远离市区的处理设施已经越来越接近新市区和公众工作及生活场所，深受恶臭困扰的公众也越来越多。

### 5.6.2 恶臭气体的种类

不同的处理设施及过程会产生各种不同的恶臭气体。污水处理厂的进水提升泵房产生的主要臭气为硫化氢，初沉池污泥厌氧消化过程中产生的臭气以硫化氢及其它含硫气体为主，污泥稳定过程中会产生氨气和其它易挥发物质。堆肥过程中会产生氨气、胺、含硫化合物、脂肪酸、芳香族和二甲基硫等臭气。好氧消化及污泥干化过程可能

产生很少量的硫化氢，但主要有硫醇和二甲基硫气体产生。

### 5.6.3 恶臭的控制

在发达国家，如美国和加拿大，针对恶臭的法规大多属公害法类的州或省级，以及地方法规，而没有联邦一级的统一法规。在实施方面也是本着因地制宜的原则，选用最适合于本地区和本现场的具体情况的控制方案和技术设备。

为了贯彻《中华人民共和国大气污染防治法》，我国在 1994 年 1 月 15 日由原国家环保局批准实施了控制恶臭污染物的《恶臭污染物排放标准》(GB14554—93)，对恶臭污染物及臭气的排放浓度等做出了相关规定。目前我国从事恶臭控制的专业单位不多，尚不俱备从项目整体规划，工程设计，设备制造，系统集成和运行管理的综合能力。早期发展的技术主要是借鉴化工单元操作技术，如吸收、吸附、氧化、燃烧等方法，这些技术已经非常成熟，可靠和有效，且具备完善的设计标准，制造工艺，工程实施和运行管理经验。因此，单元操作仍然是控制与处理方法的主流。

## 5.7 污泥稳定化处理工艺

我国《城市污水处理及污染防治技术政策》(建成[2000]124 号)和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918)均规定要对城镇污水处理厂污泥进行稳定化处理。

技术政策第 5 款规定：城市污水处理产生的污泥，应采用厌氧、好氧和好氧堆肥等方法进行稳定化处理；日处理能力在 10 万立方米以上的污水二级处理设施产生的污泥，宜采取厌氧消化工艺进行处理，产生的沼气应综合利用；日处理能力在 10 万立方米以下的污水处理设施产生的污泥，可进行堆肥处理和综合利用；采用延时曝气的氧化沟法、SBR 法等技术的污水处理设施，污泥需达到稳定化；采用物化一级强化处理的污水处理设施，产生的污泥须进行妥善的处理和处置。

GB18918 还对采用各种生物稳定化工艺要达到的稳定化控制指标提出了要求，见表 5-3。

表 5-3 污泥稳定化控制指标

稳定化方法	控制项目	控制指标
厌氧消化	有机物降解率 (%)	>40 <sup>1)</sup>
好氧消化 <sup>2)</sup>	有机物降解率 (%)	>40 <sup>3)</sup>
好氧堆肥	含水率 (%)	<65
	有机物降解率 (%)	>50
	蠕虫卵死亡率 (%)	>95
	粪大肠菌群菌值	>0.01

污泥厌氧消化是一种使污泥达到稳定状态的非常有效的处理方法。污泥厌氧消化产生的消化气(沼气)一般由 60%~70%的甲烷、25%~40%的二氧化碳和少量的氮硫化物和硫化氢组成，燃烧热值约 18800~25000kJ/m<sup>3</sup>。大中型污水处理厂对消化产生的沼气进行回收利用，可以达到节约能耗、降低运行成本的目的。但是空气中沼气含量达

到一定浓度会具有毒性；沼气与空气以 1: (8.6~20.8)(体积比)混合时，如遇明火会引起爆炸。因此，污水处理厂沼气利用系统如果设计或操作不当将会有很大的危险。

厌氧消化污泥的稳定化程度可通过监测进泥量(V)、进泥浓度(C)、进泥中挥发性有机物含量(f)、沼气产生量和甲烷含量进行计量，也可通过监测厌氧消化池每次(天)的进、出泥量，测定进、出泥含水率和干污泥固体(含水率 0%)中挥发性有机物的含量百分比进行计量。由此，获得了两种对厌氧消化污泥进行稳定化判定的公式：一是基于沼气产量的计量公式，一是基于污泥物料平衡的计算公式，有关两者的说明，见附录 B。

考虑到我国污泥中挥发性有机质含量较低，降解性较差，因此规定：污泥厌氧消化挥发性有机物降解率应>40%。若经厌氧消化处理后，污泥中挥发性有机物的降解率达不到 40%，则取部分消化后的污泥试样于实验室在温度为 30~37℃的条件下继续消化 40 天，在第 40 天末，若污泥中挥发性有机物与取样相比，减量小于 20%，则认为污泥已达到稳定化要求。

## 5.8 污泥预处理工艺

对于污泥预处理工艺，国内外没有明确的定义。本规范依据厂界要求和工艺性质，将集泥池、浓缩池、污泥泵房、污泥脱水机房和污泥堆储场所等均定义为预处理工艺。

集泥池的作用相当于污泥贮存池，仅仅起到短期贮存，并为后续处理工艺连续运行创造条件的作用，通常情况下仅在间歇排泥的时候启用。

浓缩池是污泥浓缩的场所。污泥浓缩的主要目的是减少污泥体积，减少后续构筑物或处理单元的压力；主要对象是去除污泥中的自由水和空隙水。通常情况下，采用重力浓缩是最为经济有效的，但是污泥产生量巨大的超大型污水处理厂，或者场地条件较为紧张的污水处理厂，或者剩余活性污泥或经过除磷脱氮处理后的污泥，宜选择其它更为经济有效的浓缩方式，如机械脱水。

脱水后的污泥会产生恶臭污染物，甚至是甲烷气体。因此，为防止脱水污泥对厂区和周边大气环境造成危害，需将其贮存在隔离贮存池或地上储罐内，输送设备采用传送带。

## 5.9 污泥干化

污泥干化分为两种类型，即污泥自然干化和热干化。

### 5.9.1 自然干化

自然干化的原理是利用自然热源(太阳能)对污泥进行脱水处理，可将污泥含水率降低到 50~65%。污泥自然干化的主要构筑物是干化场，分为传统自然干化和强化自然干化。传统的自然干化可分为自然渗层干化场和人工滤层干化场两种。自然渗层干化场适用于自然土质渗透性能好，地下水位低的地区。人工滤层干化场的滤层是人工铺设的，又可分为敞开式和有盖式两种。

污泥自然干化，可以节约能源，降低运行成本，但要求降雨量少、蒸发量大、可

使用的土地多、环境要求相对宽松等条件，故受到一定限制。美国的加利福尼亚州，自然干化是普遍采用的污泥脱水和干化方法，1988年占32%，到1998年增加到39%；科罗拉多地区超过80%的污水处理厂选用干化场作为首选工艺。

污泥干化厂（场）选址首先应符合当地城镇建设总体规划和环境保护规划的规定。污泥干化厂（场）应通过环境影响评价，并符合当地大气污染防治、水资源保护、自然环境保护政策的要求。这是由我国环境法规和标准决定的。

由于自然干化过程中，会产生恶臭等污染物质，对厂区及周边环境造成危害，因此根据《环境影响评价导则》的要求，需要确定安全的卫生防护距离，本规范要求自然干化场的卫生防护距离不应小于1000米。

干化场的脱水特点及影响因素干化场脱水主要依靠渗透、蒸发与撇除。渗透过程约在污泥排入干化场最初的2~3d内完成，可使污泥含水率降低至85%左右。此后水分依靠蒸发脱水，约经1周或数周（决定于当地气候条件）后，含水率可降低至75%左右。影响干化场脱水的因素主要是气候条件和污泥性质。气候条件包括当地的降雨量、蒸发量、相对湿度、风速和年冰冻期。污泥性质对脱水影响较大，例如初沉污泥或浓缩后的活性污泥，由于比阻较大，水分不易从稠密的污泥层中渗透下去，往往会形成沉淀，分离出上清液，故这类污泥主要依靠蒸发脱水，可在围堤或围墙的一定高度上开设撇水窗，撇除上清液，加速脱水过程。而消化污泥在消化池中承受着高于大气压的压力，污泥中含有许多沼气泡，排到干化场后，由于压力的降低，气体迅速释出，可把污泥颗粒挟带到污泥层的表面，使水的渗透阻力减小，提高了渗透脱水性能。

干化场总面积一般按面积污泥负荷进行计算。面积污泥负荷是指单位干化场面积每年可接纳的污泥量。单位 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 或 $\text{m} / \text{a}$ 。面积负荷的数值由试验确定。

有关污泥自然干化场有效面积的计算公式有多种描述：

#### （1）人均面积设计法

主要是基于Imhotf和Fair在20世纪初对初沉污泥所作的经验研究，即根据污泥干化场应用的污泥类型及固体浓度，推荐的人均面积为 $0.1\sim 0.3\text{m}^2/\text{人}$ 。而目前普遍处理的是含水率更高的初沉和二沉混合污泥（含固率从以往的70%降至2.5%~4%），这就要求更大的干化场面积。由于污泥性质上的改变，英国的经验数据建议人均占有污泥干化场的面积应不少于 $0.35\sim 0.50\text{m}^2/\text{人}$ 。

#### （2）固体负荷设计法

本法也是基于经验数据。敞开式干化场的设计值在 $50\sim 125\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$ ，封闭式干化场的设计值在 $60\sim 200\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$ 。根据固体负荷法计算污泥干化场面积的方法比人均面积的方法要精确些。

#### （3）数学模型法

Rolan利用合理的工程设计方法代替经验数据开发了一系列反应式，不但确定了污泥干化场的设计标准，而且确定了其最佳运行条件：

##### 1) 干化时间计算公式

$$T = \frac{(D'(e) + \eta \cdot R'(e)) \times C_0}{E_s} \quad (5-11)$$

式中:

$T$ : 干化时间, d;

$D'(e)$ : 单位进泥含固率下的蒸发水量, cm/%, 可直接由试验数据的统计得出, 也可根据当地水面蒸发量乘以系数 0.75 估算;

$C_0$ : 进泥浓度, %

$E_s$ : 污泥中水分的平均蒸发速率, cm/d。

$\eta$ : 污泥吸收降雨量的比率, %, 通常取 57%。

$R'(e)$ : 降雨量, cm。

2) 一定操作条件下, 每次施泥的床面积负荷为:

$$IA = D_i \times R_s \times DS_{(i)} \quad (5-12)$$

式中:

$IA$ : 单位面积上的污泥干固体含量, kg/m<sup>2</sup>;

$D_i$ : 每次施泥厚度, m;

$R_s$ : 污泥密度, kg/m<sup>3</sup>, 对原污泥可取 1.0;

$DS_{(i)}$ : 进泥含固率, %。

3) 设计周期内单位面积的干泥产量:

$$Y = IA \times A_t \quad (5-13)$$

式中:

$Y$ : 设计周期内单位面积上的干泥产量, kg/(m<sup>2</sup>·周期);

$A_t$ : 个周期内的施泥次数, 周期<sup>-1</sup>。

(4) 经验公式法

我国给水排水教科书以及一些现行规范中给出的计算公式:

$$S_1 = \frac{W}{D} \quad (5-14)$$

式中:

$S_1$ : 干化床的有效面积, m<sup>2</sup>。

$W$ : 总干化污泥量, m<sup>3</sup>/a;

$D$ : 在一年内排放在干化床上的污泥层总厚度, m。

为与现行规范统一, 因此本规范采用了公式 (5-14)。

污泥干化场的污泥主要靠渗滤、撇除上层污泥水和蒸发达到干化。渗滤和撇除上层污泥水主要受污泥的含水率、粘滞度等性质的影响, 而蒸发则主要视当地自然气候

条件，如平均气温、降雨量和蒸发量等因素而定。由于各地污泥性质和自然条件不同，所以，建议固体负荷量宜充分考虑当地污泥性质和自然条件，参照相似地区的经验确定。在北方地区，应考虑结冰期间干化场储存污泥的能力。

干化场划分块数不宜少于 3 块，是考虑进泥、干化和出泥能够轮换进行，从而提高干化场的使用效率。围堤高度是考虑贮泥量和超高的需要，顶宽是考虑人行的需要。

冬季时间较长或雨季较长的地方，应加大干化场的面积或增设防雨措施。主要是由于冬季气温较低，水蒸发速率下降，雨季较长时，降雨量过多会，两种情况均会使自然干化速率下降，为了确保干化场能够全部处理掉污水处理厂所产生的污泥，加大干化场面积或增设防雨措施是较为简单的方法。

对脱水性能好的污泥而言，设置人工排水层有利于污泥水的渗滤，从而加速污泥干化。我国已建干化场大多设有排水层，国外规范也都建议建设人工排水层。人工排水层的上层用细矿渣或砂层铺设，厚度 200~460mm；下层用粗矿渣或砾石，层厚 200~460mm。

为了防止污泥水入渗土壤深层和地下水，造成二次污染，故规定在干化场的排水层下面应设置不透水层。某些地下水较深、地基岩土渗透性较差的地区，在当地卫生管理部门允许时，可考虑不设不透水层。本条与原规范相比，加大了设立不透水层的强制力度。

污泥在干化场脱水干化是一个污泥沉降浓缩、析出污泥水的过程，及时将这部分污泥水排除，可以加速污泥脱水，有利于提高干化场的效率。

### 5.9.2 热干化

热干化是使用人工能源当热源的，主要去除污泥中难以采用机械方式去除的间隙水和结合水，但污泥干化能耗相当高，设备投资和运行成本也非常高，去除每千克水的能耗为 3000~3500kJ。我国大连开发区、秦皇岛、徐州等污水厂已经采用热干化工艺烘干污泥，并制造复合肥。深圳的污泥热干化工程，目前已着手开展。

干化的主要成本在于热能，降低成本的关键在于是否能够选择和利用恰当的热源。干化工艺根据加热方式的不同，其可利用的能源来源有一定区别，一般来说间接加热方式可以使用所有的能源，其利用的差别仅在温度、压力和效率。直接加热方式则因能源种类不同，受到一定限制。

按照能源的成本，从低到高，分列如下：

烟气：来自大型工业、环保基础设施（垃圾焚烧炉、电站、窑炉、化工设施）的废热烟气是零成本能源，如果能够加以利用，是热干化的最佳能源。

燃煤：非常廉价的能源，以烟气加热导热油或蒸汽，可以获得较高的经济可行性。尾气处理方案是可行的。

热干气：来自化工企业的废能。

沼气：可以直接燃烧供热，价格低廉，也较清洁，但供应不稳定。

蒸汽：清洁，较经济，可以直接全部利用，但是将降低系统效率，提高折旧比例。

可以考虑部分利用的方案。

燃油：较为经济，以烟气加热导热油或蒸汽，或直接加热利用。

天然气：清洁能源，但是价格最高，以烟气加热导热油或蒸汽，或直接加热利用。

所有的干化系统都可以利用废热烟气来进行。其中，间接干化系统需通过导热油进行换热，对烟气无限制性要求；而直接干化系统由于烟气与污泥直接接触，虽然换热效率高，但对烟气的质量具有一定要求，这些要求包括：含硫量、含尘量、流速和风量等。蒸汽只能用于间接干化工艺，蒸汽的利用首先对过热蒸汽进行饱和，饱和蒸汽通过换热表面加热物料，释放出全部汽化热，同时蒸汽冷凝为水。一般来说，蒸汽由于温度相对较低，在一定程度上影响干燥器的处理能力。

热干化设备种类很多，如直接加热转鼓式干化器、气体循环、间接加热回转室、流化床等等，热干化厂选择采用何种干化设备、干化到何种程度，必须根据当地的条件（热源条件、自然地理条件等）和干化污泥最终的去向经过技术经济比较综合确定。

污泥热干化厂在污泥贮存、输送、处理过程中，会产生恶臭污染物质，同时在干化过程中，由于部分挥发性有机物的挥发，使干化尾气中存在部分恶臭污染物，此外，干化污泥贮存时也会有恶臭产生。为了防止恶臭污染厂区及周边环境，根据《大气污染物综合排放标准》和《恶臭污染物排放标准》（GB14554）的要求，并结合本规范 6.5 条中的相关论述，必须采取恶臭防治措施。

目前，国外对热干化厂恶臭污染物的净化工艺主要是湿式淋洗和焚烧工艺。焚烧炉可与热发生器前端的燃料燃烧器合建，也可分建。其操作温度宜为 700~800℃，气体停留时间为 0.5~2s。

经净化处理后的尾气可用作直接干化系统的干燥介质或间接干化系统的吹扫气体。用作干燥介质时，宜为干燥器排气体积的 75%~85%；用作吹扫气体时，宜为干燥器排气体积的 10%~30%。

污泥热干化厂会产生尾气经冷凝处理后的废水、湿污泥料仓的渗滤水、干化厂冲洗废水和生活废水等，从优先考虑循环利用角度出发，提出优先考虑处理后综合利用，如用作烟气处理补水。如果需要排放，必须达到《污水综合排放标准》的要求。

热干化厂运行时处于高温高湿状态，粉尘浓度高，有爆炸风险，根据《环境影响评价导则》的要求确定热干化厂的安全防护距离不应小于 500 米，同时要求规划建设热干化厂之前应首先进行环境风险评价。

## 5.10 污泥堆肥

### 5.10.1 一般要求

利用城镇污水处理厂污泥生产肥料，一方面其产品是有机肥，对改善土壤性能与提高土地肥力，维持农作物长期的优质高产都是有益的，是农林业和园林绿化的需要；另一方面，随着城市化进程的加快，人民生活水平的不断提高，居民对生活环境的卫生要求也日益严格，从节省资源与改善环境角度出发，都有必要把实现有机固体废弃物资源化作为固体废弃物无害化处理、处置的重要措施。污泥中的营养成分与农家肥

比较见表 5-4。

表 5-4 污泥中的营养成分与农家肥比较

项目名称	有机质 (%)	氮 (N%)	磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	钾 (K <sub>2</sub> O%)
太原市杨家堡污水净化厂	52	1.97	1.72	0.53
上海市曲阳水质净化厂	75	1.84	0.42	0.44
上海市长桥水质净化厂	66	3.12	0.224	0.315
天津市纪庄子污水处理厂	48~53	2.4~3.9	1.2~3.5	0.32~0.43
猪厩肥	25.0	0.45	0.083	—
马厩肥	25.0	0.58	0.122	—
牛厩肥	20.0	0.34	0.070	—
羊厩肥	31.8	0.84	1.100	—

建设集中污泥堆肥中心的城镇污水处理厂，其堆肥场选址时必须首先征得当地环境保护行政主管部门和交通运输管理部门的意见。这是因为，脱水污泥在运输的过程中，可能会产生遗洒和散发恶臭污染物，从而危害城区市容环境和大气环境。其次，在堆肥场内，可能会产生恶臭、粉尘和噪声等污染物，因此其选址是个复杂的问题，必须交由当地环境保护行政主管部门决定，并充分征询当地群众的意见。

#### 5.10.2 技术要求

目前常用的污泥堆肥工艺主要有三种：自然通风静态堆、强制通风静态堆和发酵仓。其中自然通风静态堆和强制通风静态堆都属于敞开式堆肥工艺，因此极易产生恶臭污染物无组织排放问题，从而为厂区和周边地区环境带来严重污染。发酵仓堆肥工艺属于完全封闭的高效堆肥工艺。

在规划建设污泥堆肥场时，如果采用自然通风静态堆或强制通风静态堆工艺，必须要满足卫生防护距离>1000m的要求。同时厂区应采取恶臭防治措施，尾气应收集统一进行处理。

在堆肥工艺中，堆肥原料的含水率对发酵过程影响很大，水的作用一是溶解有机物，参与微生物的新陈代谢；二是可以调节堆肥温度，当温度过高时可通过水分的蒸发，带走一部分热量。水分太低妨碍微生物的繁殖，使分解速度缓慢，甚至导致分解反应停止。水分过高则会导致原料内部空隙被水充满，使空气量减少，造成向有机物供氧不足，形成厌氧状态。城镇污水处理厂污泥脱水后含水率在 70%~85%，粘性大，无结构强度，不掺入分散剂改变其性能，氧气难以进入，不易进行好氧发酵。因此，用污泥生产堆肥，必须使用适当的分散剂（如，使用经前处理过的垃圾），增加其结构强度，提高其空隙率。

《城市生活垃圾堆肥处理厂技术评价指标》(CJ/T3059)规定一级发酵原料含水率宜为 40%~60%。当含水率超出此范围时，应采用污水回喷、添加物料、通风散热等措施进行调整。

一级发酵原料挥发性有机物含量比例不得小于 20%是进行一级发酵的最低要求，一般来说，堆肥原料适宜的有机质含量为 20~80%。但实践表明，从有利于堆肥过程

进行及提高堆肥产品质量考虑，挥发性有机物含量大于 30%更为有利。城镇污水处理厂污泥的有机物含量约 50~60%左右，因此，通常情况下满足该要求。

有机物被微生物分解的速度随碳氮比变化，微生物自身的碳氮比约为 4~30，因此用作其营养的有机物的碳氮比最好也在该范围内，当碳氮比在 10~25 时，有机物被生物分解速度最大。如果碳氮比过高，堆肥成品的比值也过高，即出现“氮饥饿”状态，施于土壤后，会夺取土壤中的氮，而影响作物生长。堆肥过程适宜的碳氮比应为 (20~30): 1。城镇污水处理厂污泥的 C/N 比一般在 (10~20): 1 的范围内，因此需要采用其它物料对其进行调节。

一次发酵时，发酵仓进料应均匀，防止出现物料层厚不等，含水率不均，或物料挤压等不利于发酵升温的情况。静态发酵自然通风条件下，物料堆置高度宜为 1.2~1.5m，当在仓底设置风沟时，自然通风的物料堆高可达 3m 左右。

静态发酵强制通风时，每立方米污泥的通风量取 0.05~0.20Nm<sup>3</sup>/min，通常进行非连续通风。当挥发性有机物含量低、仓内发酵热量不大时，应注意避免通风过量导致温度下降，间歇动态工艺风量应根据试运行情况确定，通常取下限。

一级发酵仓通风风压按堆肥堆高每升高 1m，风压增加 1000~1500Pa 计。当堆料高度超过 3m 时（如间歇动态发酵），仅靠底部通风不够时，可考虑侧面通风等措施。

温度是决定堆肥质量的重要因素。温度低于 20℃时，堆肥进程很慢甚至停止。随着堆肥的进行，温度升高，55~60℃被认为是杀死微生物和病原菌的适宜温度。温度高于 60℃，微生物活动开始受到抑制；温度高于 82℃时，微生物活动会受到极大的抑制，嗜高温微生物也难以存活。

李承强、魏源送等人将堆肥腐熟度指标分为三类：物理学指标、化学指标及生物学指标，并认为采用化学和生物指标综合评价腐熟度是目前最为常用的评价方法。用来研究腐熟度的化学指标有：有机质变化指标、氨氮指标、腐殖化指标、碳氮比和有机酸等；生物学指标主要有呼吸作用、生物活性及种子发芽率等。

在这些评价腐熟度指标的方法中，比较常用的有碳氮比指标，耗氧速率指标，NO<sub>3</sub>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 指标，且经常作为标准的实验室对比试验方法。

香港环境署给出的堆肥腐熟度测试标准是：腐熟度必须分别通过表 5-5 中 A 组或 B 组的任何一项测试：

表 5-5 堆肥腐熟度测试标准

		测试项目
腐熟度	A 组	1. 氨氮浓度 ≤ 700 mg/kg dw 2. 氨氮硝酸盐比 ≤ 3 3. 挥发性有机酸浓度 ≤ 500 ppm dw
	B 组	1. 碳氮比 ≤ 25 2. 耗氧率 ≤ 0.4 g O <sub>2</sub> /kg TS/hr 3. 二氧化碳释放率 ≤ 2 g C/kg VS/d

孔建松研究认为，种子发芽率是一种快速、简洁、准确评价堆肥是否腐熟的指标

之一，并得出当相对发芽率达到 80% 以上可断定堆肥基本腐熟的结论。

### 5.10.3 监测与管理

参照《城市生活垃圾好氧静态堆肥处理技术规程》要求，定期测试一级发酵仓升温情况，测温点应根据升温变化规律分层、分区设置。高度应分为上、中、下三层，上下层测试点均应设在离堆层表面或底部 0.5m 左右处，每个层次水平面测试点按发酵设施的几何形状，可分为中心部位和边缘部位设置，边缘部位宜为 0.3m 左右。

堆体温度、氧气浓度、含水率和挥发性有机物含量是堆肥工艺的重要参数，直接影响了堆肥进程和堆肥质量，因此每日对这些参数进行监测，可以及时调整和优化工艺参数，使堆肥过程更为快速和有效。其中堆体温度、氧气浓度宜在线监测。

氨氮浓度、耗氧率和种子发芽率是堆肥腐熟度指标，每周取样进行 1~2 次检测，可及时了解堆肥的腐熟程度。根据 GB7959 的要求，每周至少应对堆肥产品中的蛔虫卵死亡率、粪大肠菌值等无害化卫生指标进行一次检测，考察堆肥产品的稳定化程度。

参考 GB8172，堆肥产品应有资质肥料质量检测机构检测，监测内容和标准按照 GB 8172 执行，每批产品需送检一次，遇到原料、工艺、设备改变时，需增加产品送检。

污泥堆肥处理生产性粉尘主要源于物料装卸过程，依《工业企业设计卫生标准》(TJ36) 要求属于其它粉尘类，最高允许浓度不大于  $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，按《工作场所空气中粉尘测定方法》(GB5748) 进行监测；生产性噪声主要源于振动筛分机、风机等设备。依《工业企业噪声卫生标准》、《工业企业厂界噪声标准》(GB12348) 要求，堆肥处理厂车间噪声不得大于 85dB (A)，堆肥处理厂界噪声，昼间不大于 60dB (A)，夜间不大于 50dB(A)。按《工业企业厂界噪声测量方法》(GB12349) 等标准的要求进行检测。

### 5.10.4 污染控制要求

我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002) 对污泥堆肥提出了稳定化指标和卫生指标，本规范采用这一要求。

《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002) 和《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284—84) 均对农业利用污泥中重金属等污染物提出了限值要求。在本规范“11 农田利用及土地利用”中对污泥利用时的重金属、病原菌等提出了指标要求。在本规范“12 填埋”还对污泥含水率、有机质含量等性质提出了要求。

本规范要求将污泥进行农田利用、土地利用、填埋场填埋或作为填埋场覆盖土时遵循相关章节的要求。

由于我国城镇污水处理厂脱水污泥的含水率一般在 75%~85% 之间，依然很高，在贮存和堆肥处理的过程中肯定会产生渗滤液，渗滤液中污染物浓度非常高。因此，作为一种预防措施，所有操作阶段都必须在防渗漏的表面上进行，如此，可以防止渗滤液渗到地面水或地下水中。如果做不到这一点，在处理厂周围设立壕沟改变溢流方向，可以防止溢流液进入处理场。处理场产生的溢流可以被截留并通过沟渠疏导到废水处理厂。

同时，考虑到有时候堆肥厂可能需要用水调节物料含水率，以保证堆肥过程的正

常稳定运行，因此，从节能减排和循环经济的角度考虑，优先将之用作物料调节用水。多余渗滤液排放式，必须经净化处理，并达标排放。

脱水污泥在贮存和堆肥过程中，会产生诸如甲烷、硫化氢、甲硫醇等恶臭污染物，根据环境空气质量标准(GB3095-1996)、大气污染物综合排放标准(GB16297-1996)、《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2002)和《恶臭污染物排放控制标准》(GB14554)的要求，必须对其污泥贮存、输送和堆置过程中产生的废气进行收集和处理。以防止危害厂内职工身体健康和厂外周边环境。日本某快速堆肥化系统堆肥过程的致臭物质测定值如表 5-6 所示：

表 5-6 污水厂污泥堆肥过程致臭物质分析 单位：mg/m<sup>3</sup>

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	1~2	0.3	0.3	0.2	0.2
甲硫醇	0.002~0.004	0.0002	0.0096	<0.0001	<0.0001
硫化氢	0.02~0.06	<0.005	<0.005	<0.0005	<0.0005
甲硫醚		0.0003	0.015	<0.0001	<0.0001
乙硫醚		0.0044	0.060	<0.0001	<0.0003
		室温 23.4℃ 湿度 49%	室温 22.7℃ 湿度 53%	室温 22.1℃ 湿度 52%	
测定方法：NH <sub>3</sub> —EPCN(Fe)铁吸光光度法、MeSH、H <sub>2</sub> S、Me <sub>2</sub> S、Me <sub>2</sub> S <sub>2</sub> —FPD 法					

## 5.11 农田利用和土地利用

### 5.11.1 一般要求

张辰《污泥处理处置技术与工程实例》中指出“在地下水位较高(≤3米)和渗透性较好的场地上不宜施用污泥；施用的场地应该是渗透性低或适中，壤土厚度不小于0.6m，土壤为中性或偏碱性(PH>6.5)，施用场地排水通畅。”

参考国外污泥农用的要求，污泥施用场地坡度宜小于3%；场地坡度为3~6%时，为可接受坡度；场地坡度为6%以上时，为限制性坡度，在限制性以上坡度不允许施用污泥。对于坡度低于6%的施用场地，应采取一定防护措施，防止雨水冲刷、径流对地表水体及附近环境的污染。张辰《污泥处理处置技术与工程实例》也做引用。

污泥施用量大于2000kg(干污泥)/亩.a时，根据《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)的规定：“施用符合本标准污泥时，一般每年每亩用量不超过2000kg(以干污泥计)。”

### 5.11.2 污泥农田利用

结合美国EPA 40 CFR 503和我国相关标准，统筹考虑经稳定化处理后的污泥有机物降解率须小于40%，肠道病毒<1 MPN/4gTS；寄生虫卵<1个/4g TS；蛔虫卵死亡率大于95%。

“农用的污泥 pH 为 6.5~8.0，比较疏松，无明显臭味。污泥中有机质含量须在 250g/Kg 以上，种子发芽指数≥75%”引自上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研

究。

污泥农田利用和土地利用中重金属污染因子主要有镉、汞、铅、铬、砷、镍、锌和铜。制订重金属浓度限值的依据为：防止直接吸入污泥导致人患病和中毒；防止污泥对作物本身的毒性；防止污泥对土壤微生物和动物的有害影响；防止污泥通过植物吸收或动物吸收进入人体而产生有害影响。美国 EPA 土地利用标准见表 5-7，在重金属浓度控制方面不仅有最高浓度限制，还有月平均浓度限制、累计负荷限制和年污染负荷。我国现行的污泥农用标准中的重金属限值见表 5-8，考虑到污泥农用及土地利用的特点和标准的可操作性，本标准的限值基本沿用了《城镇污水厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的农用标准，只是放宽了锌在碱性土壤中的浓度限值。

表 5-7 美国污泥土地施用过程中的重金属限值

污染物	最高浓度限制 1),2) mg/kg	浓度限制 (月平均) 3) mg/kg	累积负荷 CPLR kg/ha	年污染负荷 APLR kg/ha/y
总镉	85	39	39	2.0
总汞	57	17	17	0.85
总铅	840	300	300	15
总铬	3 000	1 200	1 200	
总砷	75	41	41	2.0
总镍	420	420	420	21
总锌	7 500	2 800	2 800	140
总铜	4 300	1 500	1 500	75
总钼	75	- 4)	- 4)	- 4)
总硒	100	36	36	5.0
适用范围	所有污泥	直接施用或袋装施用污泥	直接施用污泥	袋装施用污泥 5)
选自	503.13 表 1	503.13 表 3	503.13 表 2	503.13 表 4

表 5-8 我国现有的污泥农用标准中的重金属限值

序号	控制项目	最高允许含量 (mg/kg 干污泥)			
		在酸性土壤上 (pH<6.5)		在碱性土壤上 (pH≥6.5)	
		农用污泥中污染物控制标准	城镇污水厂污染物排放标准	农用污泥中污染物控制标准	城镇污水厂污染物排放标准
1	总镉	5	5	20	20
2	总汞	5	5	15	15
3	总铅	300	300	1000	1000
4	总铬	600	600	1000	1000
5	总砷	75	75	75	75
6	总镍	100	100	200	200
7	总锌	500	2000	1000	3000
8	总铜	250	800	500	1500

另外，一些生产部门排放的污水中含有一定的有机污染物，如聚氯二酚、多环芳烃以及农药的残留物。这些物质在污水和污泥的处理过程中会得到一定程度的降解，但一般难以完全除去，在污泥的使用时还需考虑其可能产生的危害。我国 1984 年颁布的《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)增加了硼、矿物油和苯并(a)芘的限值，《城镇污水厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中增加了石油类、对多氯代二苯并二恶英/多氯代二苯并呋喃、可吸附性有机卤素(AOX)、多氯联苯(PCB)等的浓度限值。

本规范的表 11-2 农用污泥中污染物安全施用量限值（即连续施用年污染物负荷）和表 11-3 农用污泥中污染物一次性最大污泥施用量限值（即累积污染物负荷）的数值是根据《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)的规定按酸性和中性及碱性土壤计算。

污染物安全施用量限值 =  $30000\text{kg}/\text{hm}^2 \times \text{相应的《农用污泥中污染物控制标准》限值}/10^6$ 。

污染物一次性最大污泥施用量限值 = 污染物安全施用量限值  $\times 5$  年

污泥农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 100kg（以  $\text{P}_2\text{O}_5$  计）。参考张辰《污泥处理处置技术与工程实例》。

### 5.11.3 污泥土地利用

卫生指标应满足粪大肠菌群菌值  $>0.01$  参考《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中对粪大肠菌群菌值的规定。污泥 pH 为 6.0~8.5，含水率  $\leq 45\%$ 。施用的污泥的臭度须  $<2$  级（六级臭度），种子发芽指数  $\geq 70\%$ 。参考《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究》。

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  $\text{P}_2\text{O}_5$  计）。参考《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究》及《污泥处理处置技术与工程实例》。

## 5.12 污泥填埋

### 5.12.1 填埋方式

目前污泥填埋的方式主要是混合填埋和专用填埋。

#### (1) 混合填埋

混合填埋指污泥与生活垃圾混合在填埋场进行填埋处置，首先将污泥堆积在固体废物的上层并进行尽可能充分的混合，然后将混合物平展、压实，然后像通常的固体废物填埋一样进行覆土。

#### (2) 专用填埋

单独填埋 (monofill) 指污泥在专用填埋场进行填埋处置，又可分为沟填 (trench)、掩埋 (area fill) 和堤坝式填埋 (diked containment) 三种类型。沟填就是将污泥挖沟填

埋，沟填要求填埋场地具有较厚的土层和较深的地下水位，以保证填埋开挖的深度，并同时保留有足够多的缓冲区。沟填按照开挖沟槽的宽度可分为两种类型：宽度大于3m的为宽沟填埋（wide-trench），小于3m的为窄沟填埋（narrow-trench）。

掩埋是将污泥直接堆置在地面上，再覆盖一层泥土，用作稳定污泥的处置方法，此方法适合于地下水位较高或土层较薄的场地。

堤坝式填埋是指在填埋场地四周建有堤坝，或是利用天然地形（如山谷）对污泥进行填埋，污泥通常由堤坝或山顶向下卸入，因此堤坝上需具备一定的运输通道。

污泥填地和污泥填海造地等处置方式，可以视为特殊填埋，其与普通填埋的区别在于，体现了资源化利用，填埋空间的来源也不同。

### 5.12.2 一般要求

污泥填埋在九十年代的欧洲得到了较好的应用，特别是希腊、德国、法国在前几年应用最广泛的处置方式。但是，由于其对环境的污染和占用大量土地以及对其标准要求越来越高，许多国家和地区已经较为慎重的采用此种方式处置污泥。填埋方式在欧盟逐渐被淘汰，爱尔兰与法国已经禁止污泥填埋，美国许多地区已经禁止污泥土地填埋。考虑到我国的实际情况，污泥填埋还将在我国一定时间内是一种过渡性的处理处置措施。

污泥专用填埋场应设在夏季主导风向的下风向，在人畜居栖点500m以外。主要是参考目前国内相关的法律法规，如《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB16889-1997）就规定“生活垃圾填埋场应设在当地夏季主导风向的下风向，在在畜居栖点500米以外。”

### 5.12.3 混合填埋

混合填埋的卫生填埋场建设标准参考《城市生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004）。

目前，多数污泥合垃圾混合填埋，含水率绝大部分在80%以上，这在很大程度上影响了垃圾的填埋，多数垃圾填埋场拒收污泥，为解决这种现象，必须有效控制进场的污泥含水率，经调查也确认，污泥含水率控制在60%以下最好。

本规范在参考张善发编写的《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究》中的内容后，提出“将污泥作为垃圾填埋场日覆盖土必须首先对污泥进行改性，通过在污泥中掺入一定比例的泥土或矿化垃圾均匀混合，且含水率须小于40%，渗透系数大于 $10^{-4}$ cm/s，并堆置4天以上来提高污泥的承载能力，消除其膨润持水性，粘土覆盖层厚度应为20~30cm。”

### 5.12.4 专用填埋

填埋的污泥含水率须小于60%，才能在很大程度上减少渗滤液的产生，同时便于操作。污泥中有机质含量须小于50%，主要是考虑如果污泥有机质含量大可以考虑采用堆肥方式处理污泥，张善发在《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究》中对作为专用填埋场的污泥的有机质含量也作了规定。

对污泥的纵向抗剪强度作具体要求是考虑污泥填埋场需要碾压，如果纵向抗剪强度过低将在很大程度上影响污泥专用填埋场的现场作业。根据国内外相关的资料显示，污泥的横向剪切强度 $>25\text{kPa}$ ，纵向抗剪强度不小于 $80\sim 100\text{ kN/m}^2$ 。可以满足现场操作的要求。满足不了抗剪强度等要求时，可投加石灰或其它措施进行后续处理。国外（如德国）对于污泥填埋有详细的参数指标要求，详见表 5-9。其中最主要的是两类重要参数：一是要求填埋污泥力学（承载能力）的参数指标，横向剪切强度 $>25\text{ kPa}$ ，单轴抗压强度 $>50\text{ kPa}$ ；

表 5-9 德国对填埋污泥的性能要求一览表

参数名称	规定值		参数名称	规定值	
	I 类填埋场	II 类填埋场		I 类填埋场	II 类填埋场
横向剪切强度	25 kPa	25 kPa	单轴抗压强度	50 kPa	50 kPa

考虑到我国的实际情况，对单轴抗压强度提高到 $80\sim 100\text{ kPa}$ 。

“天然粘土类衬里的渗透系数小于 $1.0\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ，场底及四壁衬里厚度大于 $2\text{m}$ ；改良土衬里的防渗性能应达到粘土类防渗性能。”有关资料显示如果有天然粘土类衬里，其渗透系数不应大于 $1.0\times 10^{-7}\text{cm/s}$ 。

污泥专用填埋场场底地基应是具有承载能力的自然土层或经过碾压、夯实的平稳层，不应因填埋污泥而使场底变形、断裂。场底应有纵、横向坡度。纵横坡度宜在 $2\%$ 以上在有利于渗滤液的导流。

“污泥填埋场达到设计使用寿命后封场，封场工作应在填埋污泥上覆盖粘土或其他人工合成材料，粘土渗透系数应小于 $1.0\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ，厚度为 $20\sim 30\text{cm}$ ，其上再覆盖 $20\sim 30\text{cm}$ 的自然土作为保护层，并均匀压实。”具体参见张善发《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究》。

#### 5.12.5 污染控制要求

污泥填埋主要的问题在于渗滤液和填埋场产生的气体，所以在控制渗滤方面参考其它填埋场的规法做法：污泥填埋场须采取渗透（漏）控制与导排处理等措施。填埋场底部须满足防渗要求，主要采用人工或自然衬层防渗。填埋场导流层收集的渗滤液须进行净化处理，排入水体须符合国家及当地的相关规定。

对于填埋场的气体，须设气体导排设施，导排管应根据地形来设置。在填埋深度较大时宜设置多层导流排气系统。有条件回收利用填埋气体的填埋场，应设置填埋气体集中收集设施，并监测填埋气体成分及量的变化。

污泥填埋场区中，排气经处理、再利用、或焚烧并符合国家的相关规定方能释放至大气中。根据我国污泥的泥质特点以及参考张善发《上海市污水污泥处置技术指南与管理政策研究》，填埋场排放的甲烷气体的含量不得超过 $5\%$ ；建（构）筑物内，甲烷气体含量不得超过 $1.25\%$ ，以确保污泥填埋场的安全。

## 5.13 污泥焚烧

### 5.13.1 一般要求

欧盟废弃物焚烧导则 2000/76/EC 对单独焚烧厂和混合焚烧厂的定义如下：

#### (1) 单独焚烧厂 (mono-incineration)

是指用于污泥热处理的固定或移动工艺单元和设备，这种工艺单元和设备可能带有或也可能不带有回收污泥燃烧产生的热量的功能。

这种工艺单元和设备包括在焚烧装置内发生的污泥的氧化过程和其它热处理过程，如热解、气化和等离子过程，经过这一系列过程产生的物质随后在焚烧装置内被焚烧。

该定义涵盖了焚烧厂的位置和整套焚烧装置，包括所有焚烧生产线、污泥接收、储存、就地预处理设备、污泥给料系统、辅助燃料给料系统、和供风系统、锅炉、废气处理设备、灰渣和污水就地处理和贮存设备、控制焚烧操作的通风装置和系统、记录和监测焚烧工况。

#### (2) 混合焚烧厂 (co-incineration)

混合焚烧装置是指主要用于生产能源或生产原料产品的固定式或移动式装置，或者是将污泥用作辅助燃料或以处置为目的对污泥进行热处理的装置。

我国目前污泥焚烧所采用的工艺技术为干化焚烧、与生活垃圾混合进行焚烧、利用水泥炉窑掺烧、利用燃煤热电厂掺烧。干化焚烧厂通常建在城镇污水处理厂内，而后三种焚烧方式，通常需将污泥输送到相应的处理厂与其它物料混合焚烧。以污泥在焚烧物料中所占质量比的多少来判定，将干化焚烧定义为单独焚烧，而将后三种焚烧方式定义为混合焚烧。

污泥焚烧厂的投资和运行成本通常都非常高，以上海石洞口污水处理厂污泥干化焚烧工程为例，其投资成本为 8000 万元，运行成本在 160 元/t (70%WS) 左右 (2003 年价格)，而即便采用混合焚烧方式，如常州广源热电厂焚烧污泥工程，其污泥焚烧运行成本也在 120 元左右 (2008 年)，在当前中国经济发展条件下，如此高的投资和运行成本并不是所有城市能够承受得了的。

但是对于有些城市来说，由于城镇污水处理厂接收大量工业废水，污泥中有毒有害物质含量可能较高，采用如堆肥或干化工艺处理后，难以进行其它综合利用，从而需要进行填埋等，其综合处理成本依然非常高，而且难以达到很好的环境效果。

基于这两方面的考虑，本规范认为“超大型城市或经济较为发达的东部沿海城市或地区的大中型城市污水处理厂和部分污泥中有毒有害物质含量较高的城市污水处理厂可选择采用焚烧方式”。

利用生活垃圾焚烧发电厂的生活垃圾焚烧炉、水泥生产厂的水泥窑炉或燃煤火力发电厂的燃煤锅炉混合焚烧污泥是当前世界上常用的污泥处置方式。混合焚烧的优点是可以充分利用现有设施，实现能量回收和物质循环利用，节能降耗等。如可以避免重复建设昂贵的烟气处理系统、充分利用污泥热值、利用焚烧烟气对污泥进行预干燥

等。

鉴于我国很多城市均建有生活垃圾焚烧发电厂，在实际运行过程中，部分生活垃圾焚烧发电厂也已采用了混合焚烧污泥的方式，工艺设计和运行均有较为成熟的经验，因此在本规范中，我们将利用生活垃圾焚烧发电厂焚烧炉混烧污泥列为最优先考虑的焚烧技术。

鉴于我国建有较多的水泥生产厂，其中很多水泥生产厂均采用干法工艺，污泥中含有的重金属和钙质可以很好的补充甚至代替粘土，作为生产水泥的原料，而且从 20 世纪 90 年代开始，在我国的北京、上海和辽宁等地就陆续开展了利用水泥窑炉混烧污泥的试验和示范工程研究，取得了丰硕的成果和实际经验，因此本规范将水泥窑炉混烧污泥列为可利用的焚烧技术。

在燃煤火电厂混燃是当前世界普遍使用的污泥处置方法，尤其在欧洲，使用更为广泛。原则上，煤粉燃烧和流化床燃烧都适用于污泥混燃；几乎在所有中国城市的周边均有大量的火力发电厂，因此其具有广阔的应用前景。但是技术还不是非常成熟，尤其是在污泥预处理、输送、焚烧炉设计和运行、烟气处理系统、能量平衡等方面还有待进一步探索。因此本规范将之列为需要积极探索的焚烧技术。

### 5.13.2 污泥焚烧

污泥混合焚烧厂应为进厂污泥设置专门的贮存装置和设施，为了避免因污泥贮存时间过长，发生厌氧发酵而产生沼气和臭气，危害厂区环境，存在爆炸风险。为了保持混合焚烧厂连续运行，通常要求混合焚烧厂贮存 3~5d 的脱水污泥量。

脱水污泥贮存过程中会产生恶臭污染物质，因此需要对污泥贮存装置和设施进行恶臭防治，相应的防治措施要求在本规范 6.5 中进行了规定。

脱水污泥贮存过程中会产生渗沥液，因此需设置渗滤液收集设施，由于渗滤液中含有较多酸性物质，因此应进行防腐防渗处理。干化污泥由于可能产生较多粉尘，从而引起“粉爆”，因此需要采取微负压设计，并配备相应的防火防爆设施。

### 5.13.3 与生活垃圾混合焚烧

《生活垃圾焚烧技术规范要求》中规定，进炉垃圾的月平均低位热值不得 $<5\text{MJ/kg}$ ，因此，对于生活垃圾焚烧发电厂，掺混焚烧污泥时，同样也作此规定。

引用 IPPC《废弃物焚烧最佳可行技术导则》，本规范规定了污泥与生活垃圾掺烧混合比例。

引用《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2001)，本规范规定了生活垃圾焚烧发电厂掺烧污泥时，最终排入大气的烟气中污染物最高排放浓度限值，见表 5-10。

表 5-10 生活垃圾焚烧炉大气污染物排放限值

序号	项目	单位	数值意义	限值
1	烟尘	$\text{mg/m}^3$	小时均值	80
2	烟气黑度	林格曼黑度，级	测定均值	1

3	氯化氢	mg/m <sup>3</sup>	小时均值	75
4	一氧化碳	mg/m <sup>3</sup>	小时均值	150
5	二氧化硫	mg/m <sup>3</sup>	小时均值	260
6	氮氧化物	mg/m <sup>3</sup>	小时均值	400
7	镉	mg/m <sup>3</sup>	测定均值	0.1
8	汞	mg/m <sup>3</sup>	测定均值	0.2
9	Pb	mg/m <sup>3</sup>	测定均值	1.6
10	二恶英类	ng TEQ/m <sup>3</sup>	测定均值	1.0
a 本表规定的各项标准限值，均以标准状态下含 11% O <sub>2</sub> 的干烟气为参考值换算。				
b.在任何 1 小时内，烟气黑度超过林格曼 1 级的累计时间不得超过 5 分钟。				

#### 5.13.4 利用水泥生产线掺烧

##### (1) 规定了干化污泥掺烧要求

利用水泥生产线掺烧的污泥可以有两种形式，即干化污泥和脱水污泥。掺烧干化污泥时，由于水泥窑炉要求原料有粒径要求，因此必须经过破碎、筛分等。

很多研究和实际工程经验表明，利用水泥窑炉焚烧污泥时，可以有多种进料方式，既可以与水泥窑炉生料粉混合进料，也可以采用设置专门喷嘴的方式进料。干化污泥含水率较高时，喷嘴可设置在分解炉、窑头、窑尾；干化污泥含水率较低时，喷嘴宜设置在窑头的燃烧器。

##### (2) 规定了脱水污泥掺烧要求

水泥炉窑要求入窑混合物料的含水率应控制在<35%，流动度>75mm。我国脱水污泥的含水率大致在 80%左右，具有一定的粘性，但属于塑性流体。生料粉的含水率一般在 10%~30%，流动度通常较好，这就需要设置专门的物料混合设施。

##### (3) 规定了掺烧污泥性质和工况要求

由于水泥窑炉对入窑混合物料性质有要求，同时由于污泥性质并不完全等同于常用作生料原料的粘土，所以并不可以完全利用污泥代替生料原料之一的粘土。根据目前掌握的实际工程参数，并根据我国水泥生产标准的要求，我们得出污泥在窑炉的停留时间宜>30 分钟，污泥焚烧残留物质量应小于水泥产量的 5%的结论。

含氯量较高的污泥在焚烧的时候，会产生大量酸性气体，使水泥窑炉受到腐蚀风险，同时有可能产生二恶英及其前驱物，为烟气处理带来极大困难。因此本规范要求含氯量较高的污泥不宜采用水泥窑炉进行处置。

##### (4) 规定了大气污染物排放标准限值

最终排入大气的烟气中污染物最高排放浓度引用 GB4915 中相关限值要求执行。

##### (5) 规定了测试要求

出于保持水泥产品质量的要求，要求对水泥产品进行浸出毒性试验，产品中重金属和其它有毒有害成分的含量不应超过国家相关水泥质量要求限值。

#### 5.13.5 利用燃煤热电厂掺烧

##### (1) 13.2.4.1~13.2.4.3 款中的说明

在欧洲，污泥利用燃煤热电厂掺烧是普遍使用的污泥处置方法，主要有煤粉燃烧和流化床燃烧。利用燃煤热电厂混合燃烧污泥适用于污水处理厂周边有燃煤火力发电厂，且运输距离不太远的地区。

目前我国江苏省有几座火力发电厂已采用这种方式来处理处置城市污水污泥，如南京协鑫生活污水火力发电厂、扬州协鑫生活污水火力发电厂、常州鑫源火力发电厂等，其中常州鑫源火电厂还将焚烧灰渣作为生产环保型砖材的原料。

国外火电厂混合燃烧的脱水污泥含固率通常在 20%~35%，污泥添加量大约保持在煤质量流量的 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，最高掺烧比例可达 30%。之所以出现这样的差别，主要是由于掺烧污泥的含水率不同。

本规范通过总结国内多座燃煤火力发电厂的运行参数，认为每台 75 蒸吨/h 以上燃煤锅炉直接掺烧脱水污泥（含固率 20%）的量不宜超过燃煤量的 10%，且燃煤火力发电厂应有不少于两座 75 蒸吨/h 以上的燃煤锅炉。

为了便于操作和设计人员校核污泥混合量的多少，给出折算公式：

$$\frac{W_4}{W_5} = \frac{1}{50H_4} \quad (5-15)$$

式中：

$W_4$ ， $W_5$ ：脱水污泥质量和燃煤质量，kg；

$H_4$ ：脱水污泥含固率。

(2) 13.2.4.4 主要是对循环流化床锅炉工况提出要求。

《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2001) 中要求循环流化床燃煤锅炉直接掺烧脱水污泥时，应确保烟气在进料喷嘴以上 850°C 的温度条件下停留时间大于 2s，必要时，可通过加大二次风量保持烟气温度。二次风可引自脱水污泥贮存区。

(3) 13.2.4.5 规定了大气污染物排放标准限值

大气污染物最高允许排放浓度限值按照 GB13223-2003 中的要求执行。

### 5.13.6 关于“13.3 监测与管理”部分的说明

参考 CFR 40 Part 503 “污泥焚烧”部分的要求，在 13.3.1~13.3.5 中规定了焚烧时应监测的参数和装置设置要求。

## 5.14 综合利用

### 5.14.1 一般要求

污泥的综合利用主要指脱水污泥或污泥焚烧灰作建材利用和滤料等，如制砖、制陶粒、制水泥、制人工轻质填料、混凝土的填料、制活性炭、制生化纤维板等。

目前，用污泥用作水泥添加料、制砖和人工轻质骨料这几方面技术比较成熟，消纳量较大，市场前景较好，可以作为污泥消纳的手段。另外，污泥建筑材料利用还有

污泥制生化纤维板、路基材料、围栏等工艺，这些工艺目前还存在技术不够成熟或者消纳量太小的缺点，所以包括在同一个小类内。

对污泥综合利用，首先应该对污泥含水率和臭度应该进行控制，本规范规定：进厂污泥含水率须小于 80%，臭度小于 2 级（六级臭度）。综合利用的污泥必须经脱水、除臭、去除重金属等无害化处理后方可综合利用。

污泥及污泥焚烧灰中含有一些有毒有害的污染物，如重金属等，直接利用会对人类健康产生危害并对环境造成不利影响。目前我国尚没有关于污泥及污泥焚烧灰在建材利用中重金属限制的规范或标准，为此，参考《有色金属工业固体废弃物污染控制标准》(GB5085—85)和《建筑材料用工业废渣放射性物质限制标准》(GB6763-86)。中的有关规定禁止进行污泥综合利用。污泥建材利用重金属浸出及灰渣中限制值见表 5-11。

表 5-11 污泥建材利用重金属浸出限制标准及灰渣中限制值

项目	浸出液最高允许浓度 (mg/L)	灰渣中允许的最高含量建议值 (mg/Kg)	
		Z0	Z1
Hg	0.05	0.2	2.0
Cd	0.3	0.6	2.0
As	1.5	20	30
Cr	1.5 (Cr <sup>6+</sup> )	50	100
Pb	3.0	20	200
Cu	50	100	1000
Zn	50	300	1000
Ni	25*	40	200
Be	0.1*	-	-
F	50	-	-

注：Z<sub>0</sub>建材可应用于各种场合；Z<sub>1</sub>建材应用于特殊场合，如公园、工业区。

#### 5.14.2 制砖及水泥

干污泥砖的抗压强度随干污泥含量的增加而降低，随烧成温度的升高而升高。10%的含量污泥砖在 1000℃烧成时其抗压强度为二级品。污泥（灰）含量低于 10%制砖时，其抗压性比污泥砖黏土砖好。研究表明当污泥（灰）含量为 10%，烧结温度为 1080~1100℃，其抗压性能较好。

“用焚烧灰制砖时，须加入适量的黏土与硅砂，使其成分达到制砖黏土的成分标准，适宜配比为黏土：焚烧灰：硅砂=50：50：（30~40）（质量比）。”具体可常见何晶晶《城市污泥处理与利用》以及张辰《污泥处理处置技术与工程实例》。

污泥或污泥焚烧灰制砖时，产品质量必须符合《中华人民共和国国家标准烧结普通砖》（GB5101-93）的规定。

将脱水污泥或污泥焚烧灰制水泥时，脱水污泥混入水泥原料中的最大体积比应不大于 10%，污泥焚烧灰混入水泥原料中的最大质量比应小于 4%。

污泥在替代混凝土中砂的利用时，必须符合 JC/T622-1996 的规定。污泥在水泥制作利用时，产品质量必须符合《通用硅酸盐水泥》（GB175-2007）的规定。

#### 5.14.3 制陶粒

我国行业标准《超轻陶粒和陶砂》JC487-92 将轻质陶粒堆积密度不大于  $500\text{kg/m}^3$ 。轻质陶粒采用优质黏土、页岩或粉煤灰为主要原料，经过回转窑高温焙烧，经膨化而成。污泥中含有  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为主，类似黏土的成分，在污泥中投加一定的辅料和外加剂，污泥便可以制成轻质陶粒。

“污泥制陶粒烧结温度  $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ ，陶粒中残留碳的含量应在  $0.5\sim 1.0\%$ ，烧结时间控制在  $25\sim 30$  分钟。”具体可以参见赵庆详《污泥资源化技术》。

将污泥制成的陶粒产品应用于不同领域时，所制陶粒产品必须符合相关行业的产品标准和环保要求，不符合的产品禁止使用。

#### 5.14.4 污染控制要求

污泥综合利用时，主要须考虑两点：一是避免污泥或污泥焚烧灰对人体健康的危害；二是掺混的污泥或污泥焚烧灰对工艺产品不产生影响。所以本规范对这方面进行了规定：“在利用前污泥须进行无害化处理，没有进行无害化处理前，避免与人的直接接触。污泥综合利用混掺的污泥量不得对生产工艺和产品的质量造成环境污染和影响，生产的产品必须符合相关的标准和规范。”

对利用的污泥和污泥焚烧灰必须进行监测，控制污泥中的重金属、放射性污染物、有机污染物等有毒有害物质的含量，使其符合有关规定后方可销售。

此外，利用脱水污泥或污泥焚烧灰制污泥砖、制陶粒、水泥和人工轻质填料等的过程中应控制产生的废气污染，产生的废气须达标排放。

### 5.15 运输和贮存

污泥及其渗滤液均含有很高浓度的污染物质，如 COD、重金属等，并含有病原菌，一旦发生遗洒、泄漏和渗漏，将会对周边环境、地表水体、地下水体、土壤等产生危害，因此应避免在贮存过程中发生遗洒、泄漏和渗漏。

根据环境影响评价导则的要求，禁止在一类环境影响敏感区内建设污染项目贮存和处置设施，在其它区域内建设需得到批准，并经过环境影响评价。

根据“三同时”原则，在规划建设污水处理厂时，必须同时规划建设污泥贮存场所，以防止二次污染。按照“城市污水处理工程项目建设标准”的要求，环境保护行政主管部门应对规划建设的污泥贮存场所进行监督和指导。

大中型城镇污水处理厂污泥贮存场地应进行环评

脱水污泥贮存设施贮存容积低于所接收的城镇污水处理厂 7d 污泥产生量是不经济的，但是如果贮存量超过 10d，又会产生厌氧消化，从而引发诸如爆炸等环境风险。同

时脱水污泥会散发恶臭污染物，因此，必须采取通风和除臭措施。

脱水污泥贮存过程中，会产生渗滤液，因此应将中转和临时贮存场地硬化，防止渗滤液渗入土壤，危害环境。