

美国水环境联合会 ( WEF<sup>®</sup> ) 环境工程实用手册系列

# 城镇污水处理厂运行管理手册

Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants

( 原著第6版 )

## 第3卷 固体处理工艺

[美] 美国水环境联合会 编著

谢 丽 何小娟 译

周 琪 审校

中国建筑工业出版社

美国水环境联合会（WEF<sup>®</sup>）环境工程实用手册系列

# 城镇污水处理厂运行管理手册

（原著第6版）

固体处理工艺（第3卷）

[美] 美国水环境联合会 编著

谢 丽 何小娟 译

周 琪 审校

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2010-1061号

图书在版编目（CIP）数据

城镇污水处理厂运行管理手册（原著第6版） 固体处理工艺  
（第3卷）/（美）美国水环境联合会编著；谢丽等译. —北京：  
中国建筑工业出版社，2012.2

美国水环境联合会（WEF®）环境工程实用手册系列  
ISBN 978-7-112-13767-1

I. ①城… II. ①美… ②谢… III. ①城市污水处理-污水  
处理厂-运行-管理-手册②城市污水处理：固体废物处理-  
手册 IV. ①X505-62②X703-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第237393号

Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All rights reserved.

0-07-154370-8 WEF Solids Processes, 6/e

Translation © 2011 by China Architecture & Building Press

本书由美国麦格劳-希尔图书出版公司正式授权我社翻译、出版、发行本书中文简体字版。

责任编辑：石枫华 程素荣

责任设计：董建平

责任校对：张颖 赵颖

美国水环境联合会（WEF®）环境工程实用手册系列  
城镇污水处理厂运行管理手册  
（原著第6版）

固体处理工艺（第3卷）

[美]美国水环境联合会编著

谢丽 何小娟 译

周琪 审校

\*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

华鲁印联（北京）科贸有限公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：18 字数：415千字

2012年3月第一版 2012年3月第一次印刷

定价：66.00元

ISBN 978-7-112-13767-1

（21542）

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

## 原著编写组

本手册由美国水环境联合会城镇污水处理厂运行管理编写组编写完成。

主席: Michael D. Nelson

Douglas R. Abbott	Gene Emanuel
George Abbott	Zeynep K. Erdal, Ph.D., P.E.
Mohammad Abu-Orf	Charles A. Fagan, II, P.E.
Howard Analla	Joanne Fagan
Thomas E. Arn	Dean D. Falkner
Richard G. Atoulikian, PMP, P.E.	Charles G. Farley
John F. Austin, P.E.	Richard E. Finger
Elena Bailey, M.S., P.E.	Alvin C. Firmin
Frank D. Barosky	Paul E. Fitzgibbons, Ph.D.
Zafar I. Bhatti, Ph.D., P. Eng.	David A. Flowers
John Boyle	John J. Fortin, P.E.
William C. Boyle	Donald M. Gabb
John Bratby, Ph.D., P.E.	Mark Gehring
Lawrence H. Breimhurst, P.E.	Louis R. Germanotta, P.E.
C. Michael Bullard, P.E.	Alicia D. Gilley, P.E.
Roger J. Byrne	Charlene K. Givens
Joseph P. Cacciatore	Fred G. Haffty, Jr.
William L. Cairns	Dorian Harrison
Alan J. Callier	John R. Harrison
Lynne E. Chicoine	Carl R. Hendrickson
James H. Clifton	Webster Hoener
Paul W. Clinebell	Brian Hystad
G. Michael Coley, P.E.	Norman Jadczak
Kathleen M. Cook	Jain S. Jain, Ph.D., P.E.
James L. Daugherty	Samuel S. Jeyanayagam, Ph.D., P.E., BCEE
Viraj de Silva, P.E., DEE, Ph.D.	Bruce M. Johnston
Lewis Debevec	John C. Kabouris
Richard A. DiMenna	Sandeep Karkal
John Donnellon	Gregory M. Kemp, P.E.

Justyna Kempa-Teper	Beth Petrillo
Salil M. Kharkar, P.E.	Jim Poff
Farzin Kiani, P.E., DEE	John R. Porter, P.E.
Thomas P. Krueger, P.E.	Keith A. Radick
Peter L. LaMontagne, P.E.	John C. Rafter, Jr., P.E., DEE
Wayne Laraway	Greg Ramon
Jong Soull Lee	Ed Ratledge
Kurt V. Leininger, P.E.	Melanie Rettie
Anmin Liu	Kim R. Riddell
Chung-Lyu Liu	Joel C. Rife
Jorj A. Long	Jim Rowan
Thomas Mangione	Hari Santha
James J. Marx	Fernando Sarmiento, P.E.
Volker Masemann, P. Eng.	Patricia Scanlan
David M. Mason	George R. Schillinger, P.E., DEE
Russell E. Mau, Ph.D., P.E.	Kenneth Schnaars
Debra McCarty	Ralph B. (Rusty) Schroedel, Jr., P.E., BCEE
William R. McKeon, P.E.	Pam Schweitzer
John L. Meader, P.E.	Reza Shamskhorzani, Ph.D.
Amanda Meitz	Carole A. Shanahan
Roger A. Migchelbrink	Andrew Shaw
Darrell Milligan	Timothy H. Sullivan, P.E.
Robert Moser, P.E.	Michael W. Sweeney, Ph.D., P.E.
Alie Muncer	Chi-Chung Tang, P.E., DEE, Ph.D.
B. Narayanan	Prakasam Tata, Ph.D., QEP
Vincent L. Nazareth, P. Eng.	Gordon Thompson, P. Eng.
Keavin L. Nelson, P.E.	Holly Tryon
Gary Neun	Steve Walker
Daniel A. Nolasco, M. Eng., M. Sc., P. Eng.	Cindy L. Wallis-Lage
Charles Norkis	Martin Weiss
Robert L. Oerther	Gregory B. White, P.E.
Jesse Pagliaro	George Wilson
Philip Pantaleo	Willis J. Wilson
Barbara Paxton	Usama E. Zaher, Ph.D.
William J. Perley	Peter D. Zaroni

# 《城镇污水处理厂运行管理手册》(原著第6版)翻译组

(按首字母拼音排序)

陈秀荣(华东理工大学)

丁 雷(华东理工大学)

何小娟(同济大学)

谢 丽(同济大学)

徐宏勇(华东理工大学)

# 目 录

<b>第 27 章</b>	<b>固体废物管理</b> .....	<b>1</b>
27.1	固体废物种类 .....	1
27.2	固体废物特性 .....	1
27.3	固体废物处理 .....	2
27.4	固体废物管理 .....	4
27.5	其他固体 .....	11
27.6	成本 .....	11
<b>第 28 章</b>	<b>残余物的性质及其取样</b> .....	<b>14</b>
28.1	引言 .....	14
28.2	残余物种类 .....	14
28.3	残余物性质 .....	18
28.4	取样 .....	21
<b>第 29 章</b>	<b>浓缩</b> .....	<b>24</b>
29.1	引言 .....	24
29.2	浓缩的类型 .....	24
29.3	附属设备 .....	25
29.4	重力浓缩 .....	26
29.5	加压溶气气浮浓缩 ( DAF ) .....	38
29.6	重力带式浓缩 .....	50
29.7	离心浓缩 .....	63
29.8	转鼓浓缩 .....	70
<b>第 30 章</b>	<b>厌氧消化</b> .....	<b>77</b>
30.1	引言 .....	77
30.2	消化池装置及设备 .....	82

30.3 消化池运行 .....	108
<b>第31章 好氧消化 .....</b>	<b>125</b>
31.1 好氧消化概论 .....	125
31.2 好氧消化工艺概述 .....	126
31.3 优化好氧消化的设计方法 .....	131
31.4 设备设计和选择 .....	148
31.5 工艺性能 .....	153
31.6 工艺控制 .....	159
31.7 工艺启动 .....	160
31.8 运行监控 .....	161
31.9 数据采集和实验室控制 .....	164
<b>第32章 其他稳定方法 .....</b>	<b>167</b>
32.1 堆肥 .....	167
32.2 石灰稳定 .....	175
32.3 热处理 .....	178
32.4 加热干燥 .....	183
32.5 焚烧 .....	186
32.6 污泥稳定工艺的比较 .....	193
<b>第33章 脱水 .....</b>	<b>195</b>
33.1 引言 .....	195
33.2 生物固体脱水困难原因分析 .....	195
33.3 脱水的操作运行原理 .....	201
33.4 无机化学药剂 .....	203
33.5 有机絮凝剂 .....	205
33.6 自然风干污泥脱水系统 .....	224
33.7 机械脱水设备 .....	233
33.8 脱水污泥的传送 .....	236
33.9 添加剂 .....	237
33.10 污泥机械脱水的一般计算 .....	237
33.11 离心脱水机 .....	247



## 目 录

33.12 真空过滤和压力过滤 .....	256
33.13 预防性维护 .....	266
参考文献 .....	269

## 第27章 固体废物管理

污水处理厂固体废物管理是指已从污水中去除的和已处理、即将离开污水处理厂的废物的处理及处置。本文所讲的固体废物通常为生物固体，但也包括浮渣，油脂，格栅渣，沉砂和灰烬。[美国水环境联合会（WEF）将生物固体定义为“污水处理系统产生的固体有机物，并能被回用”。在生物固体处理之前，这些有机物被称为污水处理厂固体废物或污泥。生物固体必须满足各州和美国环境保护局（US EPA）对其回用的标准]

### 27.1 固体废物种类

污水处理厂接收并产生各类固体废物，如灰烬，浮渣，油脂，隔栅渣，沉砂和污泥（包括生污泥，处理过的污泥，初沉、二沉和三沉污泥，混合污泥，化学污泥）等。有些污水处理厂也会接收污水原位处理系统产生的化粪池污泥和其他污水处理厂产生的液体污泥（更多关于污泥的资料信息请参见本书第28章）。

污水处理厂日常运行中也会产生其他类型的固体废物，包括废纸、厨余垃圾、汽车残余物、设备机油、化学药剂包装袋、实验室废物、办公室废品（包括打印机硒鼓，复印机和传真机墨粉等）、灯泡、电池和砖块。这些固体废物必须按照当地政府的法律进行回收利用和处理处置。[注：鉴于污水处理厂担负着保护公众健康和生态环境安全的重任，因此，污水处理厂必须对于其产生的固体废物的处理和处置，以及最大化的回收利用（Fisichelli, 1992）]。

### 27.2 固体废物特性

污水处理厂产生的生物固体的物理、化学及生物学特性影响了其资源化利用和公众感观。例如，对于联邦政府和各州管理者而言，出于控制生物固体污染和病原菌含量的目的而对其进行土地利用。而污泥土地利用场附近的居民，则主要关注是否会产生臭气，影响他们的正常生活。

生物固体可以按照重金属和有机物含量分别进行分类，因此某种污泥的最终处理处置方法的确定，必须对其主要成分进行分析以确定其污泥种类。如果某种污泥的化学和生物学指标能够满足处理处置的标准，那么影响其管理过程选择的因素主要有：

（1）营养盐浓度，这将影响地表水水体质量；

（2）微量元素浓度，这将影响土壤质量和植物生长（可能需要认证农艺师查明植物生长异常的原因）；

## 第27章 固体废物管理

(3) 其他各种成分(如汞和硫)会影响焚烧炉的空气污染控制措施的确定。

污水处理厂应该保存包含固体废物各种化学成分分析报告的多年数据。据此,工作人员可以提供本污水处理厂产生的生物固体中所含的重金属、有机物、病原菌、二噁英、放射性物质、多氯联苯(PCBS)等有害成分未超过环境危害水平的证明,在将来,这些有害成分应尽量去除。为了增加可信性,这些关于重金属和有机物浓度水平的数据应该是较为稳定,不会变化太大,或者呈现下降趋势。同时,分析结果都应该及时让专家核查,并进行实验室质量控制。

另外,污水处理厂应该设置一套有效的预处理单元,从而将污水中有害的成分最小化。这样,这些物质不会进入到固体废物中,否则产生的生物固体由于有害成分含量过高导致土壤需进行修复,而不能进行土地利用。但是,实际中生物固体的多项测试结果获得之前,就已经土地利用。污水处理厂工作人员和管理者需要确信,生物固体不会对人类健康和生态环境带来风险或危害。为了增加可信程度,污水处理厂应该进行多年历史数据的统计,并设置有效的预处理单元。

为使污水处理厂产生的生物固体的管理是基于最佳管理措施(BMPs)的,污水处理厂工作人员应做到以下几点:

(1) 对污泥进行定期取样和常规指标检测,以了解其常规指标能满足要求。

(2) 定期取样和进行其他指标分析(如优先控制污染物、放射性物质、二噁英和其他可能成分),以此来向公众展示污泥成分能满足州政府和联邦政府规定的各种标准和要求。

(3) 维持预处理单元的有效性(除非确信该污水处理厂服务区域无工业污染),以及污染减排措施的正常运行,以此来降低公众和工业企业产生的污染物。

(4) 建立并使用书面的取样方案和监管链表格。

(5) 审核检测分析结果,包括外包实验室的分析数据,以确定实验方法和实验结果的可靠性,并采取了合适的质量控制措施;如果是现场检测,实验室质量控制报告上应该按行业要求注明。

(6) 确保生物固体的生态安全性(如不含快餐盒碎片、调味品袋或个人卫生护理用品)。

## 27.3 固体废物处理

### 27.3.1 概述

污水处理厂产生的所有固体废物都需要进行处理以满足联邦政府、州政府和当地政府的要求。选择不同的处理方法将会导致生物固体的均匀性相差很大,从而影响其传输和回用。例如,处理方法会影响生物固体的均匀性,螺杆输送机产生的生物固体不易被施肥机利用,而带式输送机产生的影响则相对较小。

例如,宾夕法尼亚州匹兹堡市阿勒格尼卫生局对固体废物处理中实施了两种改良方法,得到的结果都不尽如人意。首先,生物固体经过带式压滤机进行脱水,然后利用石

灰进行调质。这样产生的污泥混合物较脆，可以利用施肥机进行有效利用，但是当污水处理厂工作人员将污泥石灰调质浓缩改为螺纹输送机混合浓缩后，则产生了呈“布丁状”的污泥块状物，不易被施肥机利用。但是，当工作人员用离心浓缩机取代带式压滤机后，则产生的污泥固体也是较脆弱且易碎的，容易利用施肥机进行播撒（由于每个污水处理厂污泥成分不尽相同，所以最佳方法也应有所不同）。

### 27.3.2 化学添加剂

在污水处理系统中投加的任何化合物最终都会转移到生物固体中，并影响其理化性质或处理方法特性，同时还会影响其允许使用的处理处置方法的选择。

在厌氧消化中投加石灰和重碳酸氢钠来调节pH值一般影响不大，因为这类化合物一般只会增加生物固体中天然本底浓度，同时也是无害的。同样，在污泥好氧稳定过程中投加的酸性pH调节剂和防腐剂也不会影响其常规指标。另一方面，含钙化合物会影响土壤的化学性质和农作物营养成分的吸收，因此土地利用场地附近的土壤需要定期（如：3年1次）进行理化成分分析，以检测其宏量元素和微量元素的浓度水平。

有些污水处理厂利用有机或无机聚合物对污泥进行浓缩或脱水，有些管理机构会关注含氮聚合物，因为这些聚合物会产生胺类物质或其他强烈的恶臭气体。但是有研究者指出，聚合物可能会吸附在颗粒物上，使得其成为难以生物降解的惰性物质（Dental等，2000）。大部分聚合物易于生物降解，通常也是无害的。因此，添加聚合物一般不会影响生物固体的土地利用的安全性。

在污泥进行浓缩或脱水之前，通常需要投加各种调质剂（如石灰，氯化铁，硫酸铁，氯化亚铁，硫酸钙等），这些化学调质剂通常也不会影响污泥生物固体满足管理部门标准的要求。但如果氯化铁溶液是其他工艺过程的副产品（如来自某工业的酸洗废液），则需要检测该溶液的有机物和重金属含量。

有些污水处理厂采用高锰酸钾进行恶臭气体控制，一般也不会影响生物固体的常规指标。

### 27.3.3 处理工艺

绝大部分的污泥稳定工艺（如厌氧消化，好氧消化，堆肥，石灰稳定，热处理，干化）都会产生可进行土地利用的生物固体，但是其产生的生物固体的特点和所需的处理方法不尽相同。如厌氧消化产生的生物固体所含的有机物和病原菌含量较低，但是容易产生恶臭气体，且难以脱水。

小型污水处理厂普遍采用好氧消化工艺，产生的生物固体适用于土地利用，但浓缩性较其他工艺的差。

堆肥化处理，如若操作得当，会产生相对较干燥、不易生物降解和无臭味的生物固体。这类生物固体可在室外长期贮存，不会发臭或滋生蚊蝇。有些污水处理厂会出售这类生物固体，以此降低处理处置费用。与其他污泥稳定化工艺相比，堆肥处理通常更受欢迎，且其排放的恶臭气体更少。

## 第27章 固体废物管理

石灰稳定化工艺产生的生物固体的质量通常会受到当地管理部门的质疑，因为石灰稳定从确切意义上来讲并不能产生“稳定化”的生物固体。此外，石灰稳定产生的生物固体一般会产生恶臭（通常为氨气）。也有研究表明，如果投加过量碱度（石灰和热量），其产生的生物固体也能满足用于特殊品质生物固体病原菌减量化和昆虫吸引指数下降的标准要求，同时由于碱度较高，恶臭气体（氨气）在处理过程中从生物固体中逸出后需做进一步处理，从而减少了臭味。

热处理能大大降低病原菌含量，提高其产生的生物固体的浓度和脱水性能，实现污泥减容。尽管处理过程中会产生恶臭，但影响较小（只要保证其干燥）。但是，热处理产生的生物固体金属含量较高，且易发生自燃。

机械干燥和干燥床法会产生潜在的恶臭气体问题，如果需要进行加盖控制恶臭或提高干燥温度，则会增加运行成本。

污泥焚烧会气化大部分有机物，实现污泥最大化减容，同时，如果灰烬中重金属含量控制在当局标准之内，还可进行资源化利用。焚烧炉内温度一般大于816℃（1500°F）。如产生的灰烬为玻璃质颗粒，可以作为路基填充材料或陶瓷产品原料。由于大型污水处理厂产生的大量污泥如果进行土地利用或堆肥化处理需要大量的土地资源，焚烧法对于大型污水处理厂污泥稳定化有较强吸引力。

新兴的污泥稳定化技术包含微波技术和快速石灰稳定技术和热稳定技术。更多详细资料请参见第32章。

## 27.4 固体废物管理

### 27.4.1 管理方法选择

在固体废物管理过程中，生物固体若能满足美国环境保护局（US EPA）对污水处理厂污泥及其他固体废物处理的标准（40 CFR 503）以及各州和当地政府的标准，则均可以回用。目前，美国国家环保局（US EPA）由于在污泥预处理方面的管理与宣传得当，生物固体中的重金属浓度下降，且大量研究表明，大部分污水处理厂污泥中金属浓度均能满足40 CFR 503中的要求。但是，污泥固体中的病原菌含量和昆虫吸引指数的下降水平还取决于所采取的处理方法。

#### 1. 土地利用

生物固体土地利用常用于农田。根据40 CFR 503前言所述，1988年（海洋废物处理废除前），只有33%的污泥固体进行土地利用。美国环境保护局（US EPA）最新数据显示，目前约有60%的污水处理厂生物固体进行土地利用。在污水处理厂污泥可以进行土地利用之前，需获得联邦政府相关机构，各州和当地政府部门的批准，手续必须齐全。有些州要求每一个污水处理厂都满足上述要求，而有些州则视各污水处理厂的具体情况而定。

为获取相关部门的允许批准，生物固体产生者须按以下要求履行职责：

(1) 与管理部门时刻保持密切联系（由于已受污水处理厂工作人员邀请巡视过现场，管理员必须熟悉污水处理厂各环节单元及其运行）。

(2) 准确获取生物固体的相关测试数据（至少3年有效数据），如有可能，最好从污水处理厂开始运行时就收集相关数据。因为越多的数据越能证明污水处理厂污泥进行土地利用的合理性。

(3) 污水处理厂污水运行的历史以及其固体废物处理过程的详细介绍。

(4) 制定质量控制和质量保证方案，分析方法的标准操作程序，以及样品登记册或监管链表格。

(5) 建立良好的公众关系，尽最大努力将生物固体的管理方案予以公示。

(6) 对于污水处理厂和管理机构公众人员，应明文规定在突发性紧急事件发生时各方对于污泥土地利用过程中的职责。

(7) 制定污泥溢出等偶发性事件的防护及控制计划，制定污泥生物固体中长期管理的规划，以提高其管理能力。

(8) 制定解决污泥土地利用场附近居民纠纷的实施方案。

某些州有专门针对生物固体产生者和土地利用运营方的培训计划。从事生物固体处理的工作人员应该进行这类培训（强制性或是选择性），以便他们能学会如何与管理者沟通，并了解其被寄予的期望。污泥生物固体处理人员应该成为相关的专业性组织的活跃会员 [如美国水环境联合会（WEF），其行业性组织（MAS）和区域性组织等]，这些组织可以提供有效信息、帮助和支持。另外，上述组织还经常会出版相关技术材料。

一旦污水处理厂的污泥被允许进行土地利用，其工作人员就可按以下步骤及要求制定相关土地利用的方案：

(1) 寻找合适的场地。污泥生物固体土地利用场必须有足够的容量满足污水处理厂运行期间产生的污泥量要求。同时土地利用场应满足相关选址要求。土地利用场选址须考虑周围的湿地、风向与污水处理厂的距离，附近居民，当地对生物固体的利用条款等相关要求。

(2) 确认污泥生物固体的需求方（农场）并能解释相关条款要求，明确所有权，获得相关重要数据和授权，注意与周围居民和当地管理机构之间的协调（如镇区或自治区管理机构、村委会、保护区和州管理机构）。

(3) 与所有生物固体废物管理机构保持联系，并准备好必要的文本文件；同时需要进行现场取样（如每10.1公顷土地上需要进行一次土壤取样等）和实验室检测。需要对土地处理厂进行航拍，并标出其地理位置、场地边界等以及标出所有水源（如航道、湿地、饮用水源和水井等）；确定污泥运输车的行进路线。此外，需要完成当地管理部门要求的其他注意事项。

(4) 告知当地政府和公众关于进行生物固体综合利用的好处（特别是污泥土地利用或污水处理厂在当地是新兴项目时），从而确保所有与项目相关的人员（包括污水处理厂工作人员、运输者和土地利用场工人）能够准确理解污泥综合利用的益处，并能对公众进行合理解释和维持当地关于土地利用扩展计划的公众信息需求。

## 第27章 固体废物管理

(5) 定期对土地利用场进行检查, 从而确保所有的工作有条不紊地进行(如司机遵守规则、泥浆不外泄道路、恶臭气体得到控制、场地维护良好、有害污泥贮存妥善等), 同时在例行检查过程中, 污水处理厂管理人员应能正确回答各项提问。

### 2. 土地改良

土地改良与土地利用类似, 但后者生物固体利用速率更高, 其原因在于土地利用不仅能供给植物生长季节所需的养分, 而且可以为过度开垦及贫瘠的土壤建立长期修复机制。土地改良场点一般在呈酸性的露天矿区(Sopper, 1993; Pennsylvania Organization for Watersheds and Rivers, 2003)。然而, 通过添加有机质含量以帮助保持土壤中的水分, 生物固体也已成功应用于位于新墨西哥州的牧场改良。

石灰稳定生物固体应用于露天矿区土地改良取得了良好效果, 这是因为尽管露天矿区土地的pH值很低, 但是石灰稳定生物固体中含有的石灰有助于调节土地pH, 促进草类生长, 从而获得了良好的土地改良效果。其他类型的生物固体只要辅以适当的pH调节方法也可用于土地改良。生物固体中的有机质含量和缓慢释放的氮素可以为大部分种子混合物提供良好的生长条件。但是, 如果种子混合物中包括生长缓慢的暖季草(2~3年以上), 那么这些暖季草的生长将被生长迅速的羊茅和其他草类所抑制。为避免出现这样的问题, 可以将几种释放速率缓慢的生物固体联合应用。

生物固体也已成功应用于填埋场密封单元的植被修复。一旦填埋单元被填满, 通常覆盖一层土工膜或覆土滤布, 以防止水渗透到填埋单元内部, 同时减少填埋单元的渗滤液。生物固体以同样的方式应用于露天矿区的土地改良。

华盛顿州国王县污水处理部已将生物固体于1987年和1995年分别应用于林场和国家森林。生物固体是优秀的土壤改良剂, 同时也是树木的养分来源, 以施以生物固体为肥料的树木为例, 其年轮更宽阔。林业项目有助于加强和保护森林以及自西雅图至山脉的沿景区公路的野生动物栖息地。

### 3. 商业产品

一些污水处理厂(污水处理厂独立运营或与私企联合运营)将生物固体堆肥后用于景观园林。生物固体可经袋装后出售给公众用于花园和盆栽。

### 4. 焚烧

1993年, 381家污水处理厂(2.8%)的污泥作单独焚烧处理(占全国污泥总量的16%), 如40 CFR 503前言所述, 7家污水处理厂的污泥与城市生活垃圾混合焚烧处理。一些污水处理厂之所以选择焚烧的方式处理污泥, 是因为这些污水处理厂处于寒冷地区, 在冬季当污泥填埋不可行时, 需要一种行之有效的管理办法。一些地处大都市的污水处理厂选择焚烧方式处理污泥则是为了规避B级生物固体在相邻城市长距离运输过程中引发的臭味投诉问题。焚烧工艺需要大量设备和能源, 同时还要求配备空气污染控制装置, 剩余灰分也必须进行回收利用或处置(有关焚烧工艺更多信息请参见32章)。

一些污水处理厂回收污泥焚烧过程中产生的热量并将其应用于其他处理工艺的加热、发电或制备蒸汽加热或应用于其他处理工艺。焚烧炉灰通常作填埋处理, 但如果炉灰重金属含量在规定范围内(所有的病原体在焚烧过程中被烧掉)也可回收利用。例如, 炉

灰可作下列用途：

(1) 改良欲开垦的土壤，出售给表层土生产商（生产出的灰土混合物必须满足相关监管机构标准）；

(2) 水泥、混凝土或沥青的组分；

(3) 污泥的碱性添加剂（可与其他碱性添加剂联用）；

(4) 屋面的组分；

(5) 塑料组分；

(6) 陶瓷类材料（如在更高温度下作进一步处理）；

(7) 景观用砖（如在更高温度下作进一步加工处理）。

为了满足以上大部分用途，灰分必须达到一定标准，并且满足数量方面的需求。并非所有的污水处理厂都能满足这些要求，他们必须与那些能生产大量可用灰分的行业竞争。

### 5. 热干燥和其他热处理工艺

总的来说，热干燥及造粒生产出适销对路的化肥，且满足 40 CFR 503 对特殊品质生物固体的要求，用作土地利用时具有较少的监管记录和报告要求。这种生物固体管理方式技术成熟，气味问题可以得以有效控制，由此产生的生物固体颗粒相对进料固体来说，体积和重量大大减少，易于处理、运输和贮存，最终可以大件、袋装或容器装的形式提供给消费者。

热干燥及造粒的不足之处在于粉尘可能发生爆炸和潜在的过度和火灾可能性。此外，热干燥及造粒设备价格昂贵、复杂、维护频繁，对操作人员要求高。气体排放设备也是必需的，因为干燥某些类型的固体可能导致更多的有味颗粒产生。

固体也可以通过以下热处理工艺进行处理：

(1) 阶段高温消化；

(2) 热杀菌，生产出适销对路的化肥；

(3) 残渣汽化，产生液体、气体和氢化燃料；

(4) 热化学作用，产生含有低中级热量的热气；

(5) Enersligle™（该工艺产生燃料级油料）；

(6) Cambi™（该工艺利用温度和压力发生热解作用加热或冷却污泥）。

### 27.4.2 处置方式

污水处理厂通常是基于每个评估方案的成本来决定污泥的利用和处置方式。与土地利用类似，污泥采用最终填埋处理可能需要很多处理过程，因此相关的劳力和运输成本可能是最重要的因素。

处置方式——“倾倒”、填埋、单填、表面利用、与城市生活垃圾共同处置——都涉及将生物固体填入地面开挖的洞中。这些洞受联邦、州和地方法规的限制，需作衬垫处理；每日覆盖和最终覆盖；渗滤液收集和甲烷气收集；地下水监测；臭味、带菌体和蚊蝇等的控制；封盖和其他封闭方法。



### 27.4.3 多样化及应急计划

位于宾夕法尼亚州匹兹堡市阿勒格尼卫生局的污水处理厂大约产生 154000t (湿污泥) / (人·年) (170000t湿污泥/年) 作以下用途:

- (1) 几乎一半焚烧处理产生的蒸汽以能量回收的方式用于污水处理厂内其他处理过程;
- (2) 几乎一半用于承包商的农场和露天矿区土地利用;
- (3) 其余的作填埋处理。

处理厂管理人员之所以选择以上组合方式,是因为该厂位于市区,周围均是企业和居住区,由于可能产生臭味问题无法就地贮存污泥。该厂污泥多样性的处置方式使其污泥处理得以有效运行,同时规避了臭味,并且不受检修和天气条件的影响。

污水处理厂不仅仅处理污水,固体管理也是其运行中的重要部分。和污水处理一样,固体管理需要大量时间、精力和财政支撑。因此,所有的污水处理厂都应该建立一个突发事件应急计划(如恶劣天气),但是法规变化应急计划另当别论。污水处理厂工作人员应与监管机构建立良好的工作关系,紧跟法规发展变化的步伐。法规变化将带来更多的固体管理工作内容,涉及更多的资金和设备,这可能需要数月或数年的时间才能获批、安装和启动。

### 27.4.4 决策影响因素

选择生物固体管理方式最重要的影响因素是适用的法律、法规和地方条例。仔细检查:即使土地应用在技术上可行,取得许可证和用地批文可能相当困难和费时。监管机构除批准准许污水处理厂和用地批文外可能还有很多职责,因此,他们几乎没有时间来应对这些任务或是来自强烈反对土地申请的组织的投诉。在一些州,地方政府已经制定地方条例来征收费用和提高要求,增加一倍的土地利用成本和人力。目前的趋势是,监管机构要求处理厂出厂固体为无臭味的A级生物固体。

另一个重要因素是污水处理厂是否将生物固体处理到满足A级或B级生物固体的要求。通常情况下,A级处理工艺成本比B的高。大部分土地利用项目利用B级生物固体,其适用于农场和矿山,并被农民和矿工所接受。A级生物固体污染物水平和病原菌含量都较低,可以出售或免费派发给公众(出售价格通常不包括整个生产成本,但它确实有助于降低生产成本)。

影响生物固体管理方式的其他因素包括:

- (1) 污水处理厂位置;
- (2) 当地气候条件;
- (3) 过去的固体管理规范(人们更喜闻乐见他们所熟知的东西);
- (4) 固体利用场点的距离;
- (5) 当地反生物固体组织的数量和力量;
- (6) 当地政府官员的支持;
- (7) 预估成本;