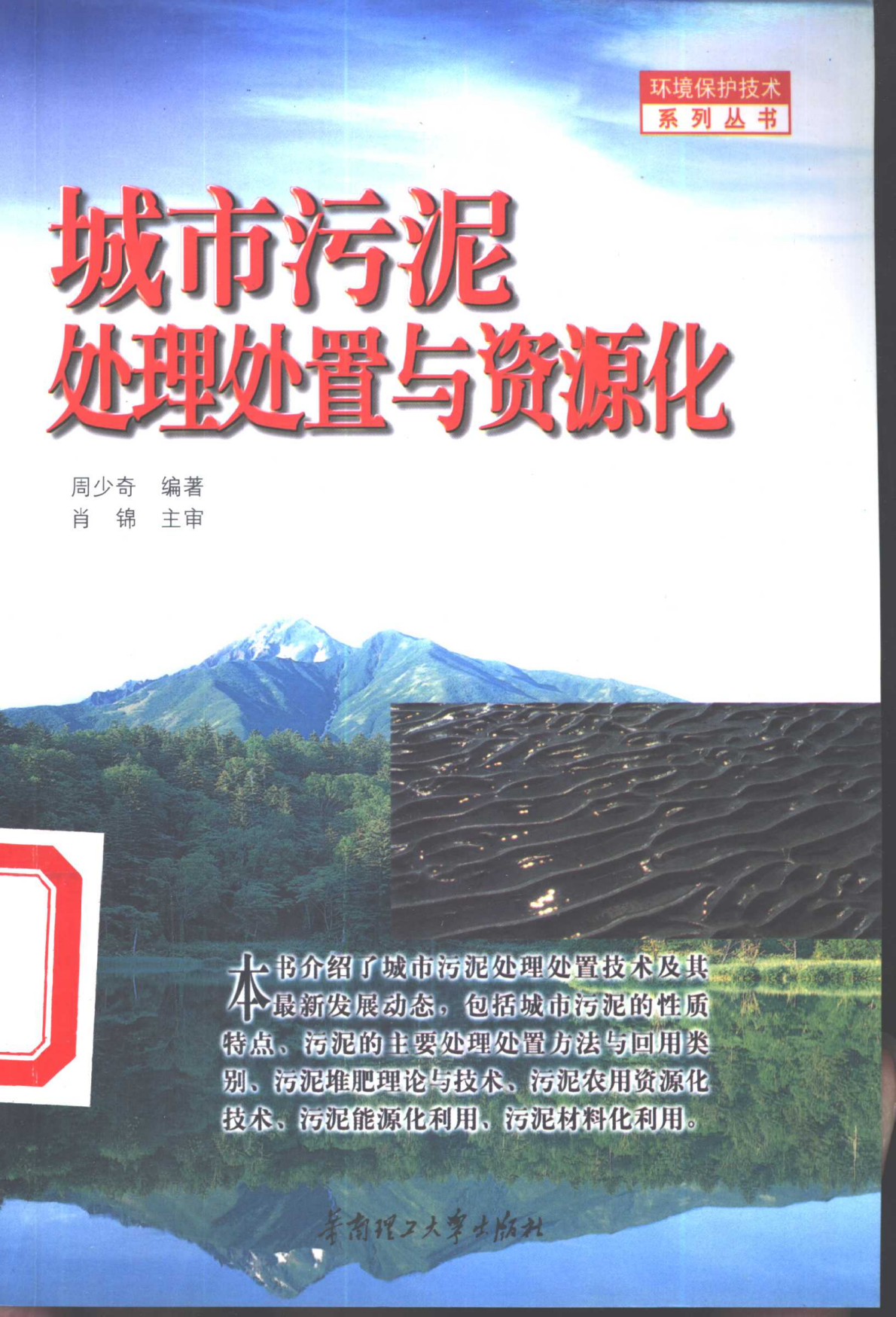


环境保护技术  
系列丛书

# 城市污泥 处理处置与资源化

周少奇 编著  
肖 锦 主审



本书介绍了城市污泥处理处置技术及其最新发展动态，包括城市污泥的性质特点、污泥的主要处理处置方法与回用类别、污泥堆肥理论与技术、污泥农用资源化技术、污泥能源化利用、污泥材料化利用。

华南理工大学出版社

环境保护技术系列丛书

# 城市污泥处理 处置与资源化

周少奇 编著  
肖 锦 主审

华南理工大学出版社

·广州·

## 内 容 简 介

本书介绍了城市污泥处理处置技术及其最新发展动态。论述了城市污泥的性质与特点,污泥的主要处理处置方法与回用类别;讨论了污泥堆肥的理论与技术,污泥农用资源化技术要求;介绍了污泥厌氧消化制沼气,污泥焚烧利用热能及污泥热化学处理与低温炼油;污泥制砖、制陶粒及制纤维板等方面的研究进展。反映了目前国内外的最新成果,同时兼顾了基础理论与工程实用技术。

本书可供高等院校师生,科研院所工程技术人员,环保产业、相关企业工程技术人员与管理人员,环保局及环卫部门的工程技术人员与管理人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

城市污泥处理处置与资源化/周少奇编著. —广州:华南理工大学出版社,2002.3

(环境保护技术系列丛书)

ISBN 7-5623-1795-X

I. 城… II. 周… III. ①城市-污泥处理 ②城市-污泥利用 IV. X 703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003794 号

总 发 行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

发行电话: 020-87113487 87111048 (传真)

E-mail: [scut202@scut.edu.cn](mailto:scut202@scut.edu.cn)

<http://www2.scut.edu.cn/press>

责任编辑: 胡 元

印 刷 者: 广东农垦印刷厂

开 本: 850×1168 1/32 印张: 4.75 字数: 120 千

版 次: 2002 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1~3 000 册

定 价: 11.50 元

版权所有 盗版必究

# 前 言

城市污泥是一类特殊的固体废物，1998年我国已将废水处理污泥收入《国家危险废物名录》。随着城市污水处理厂建设步伐的加快，城市污泥的处理与资源化已成为日益突出的环境问题。目前我国已有城市668个，按国家有关部门的规划，到2010年，我国城市污水处理率要求达到60%（目前仅为15%左右）以上，因此，城市污泥处理处置问题将更加突出，即使是现在，城市污泥的出路也是各大城市污水处理厂均感头痛的难题。造成这种状况的主要原因是：城市污泥是一种含水率高、含有机物及其他复杂危险物（包括微生物、重金属、毒性有机物）等的具有复杂流变性的半干性废物，且产生量巨大。因此，关于城市污泥处理处置的原理、高新技术以及最新发展动态是各大城市有关管理部门及城市污水处理厂的工程技术人员迫切关心的问题。

根据国内外的最新发展趋势，特别是近10年来的最新发展动态，本书将污泥的处理处置与资源化问题分为污泥性质与特点、处理处置方法与回用类别、污泥堆肥与农用资源化、污泥的能源化利用及污泥的材料化利用等几个方面，进行专门的简要介绍。在内容上，还首次引入了污泥与有机垃圾堆肥、厌氧消化及填埋处理的微生物生化反应“电子计量学”理论，首次报道并介绍了浓缩污泥的粘弹性流变特征，分析了污泥对土壤的改良修复作用，论述了污泥的毒性与可能危害性。

本书试图较系统地全面地反映国内外该领域的最新研究进展

和发展动态，希望能对我国城市污水处理厂的建设和城市污泥处理处置与资源化利用起到积极作用。

本书获华南理工大学出版基金资助、广东省环保局科技研究开发项目（2001-28）资助。

本书承蒙华南理工大学肖锦教授审阅、指导并提出宝贵意见，谨此表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请各位同行专家及广大读者批评指正。

编著者

2001.12

# 目 录

<b>第一章 城市污泥处理处置概况</b> .....	(1)
第一节 污泥的产生与环境污染问题.....	(1)
第二节 污泥处理处置技术的发展历史与最新动向.....	(2)
一、发展历史.....	(2)
二、最新动向.....	(5)
第三节 污泥处理处置与资源化的意义.....	(8)
<b>第二章 城市污水厂污泥的性质与特点</b> .....	(11)
第一节 污泥的分类 .....	(11)
第二节 污泥的性质与特点 .....	(12)
一、生物固体的含水量与含水率 .....	(13)
二、生物固体的流变特性 .....	(14)
三、生物固体的脱水性能与污泥比阻.....	(21)
四、挥发性固体与灰分 .....	(22)
五、生物固体的可消化程度 .....	(22)
六、湿污泥密度与干污泥密度 .....	(23)
七、生物固体的肥分.....	(23)
八、生物固体的热值与可燃烧性 .....	(24)
九、生物固体的毒性与环境危害性 .....	(26)
<b>第三章 城市污泥的处理处置方法与回用类别</b> .....	(29)
第一节 污泥的处理方法 .....	(29)
一、生物固体的浓缩处理 .....	(29)
二、生物固体的消化处理 .....	(33)

三、生物固体的调理（预处理） .....	(34)
四、生物固体的干化与脱水处理 .....	(41)
五、生物固体的干燥处理 .....	(59)
第二节 污泥的处置方法 .....	(63)
一、污泥的填埋处置 .....	(64)
二、污泥的投海处置 .....	(65)
第三节 污泥的回用类别 .....	(67)
<b>第四章 城市污泥的堆肥化与农用资源化 .....</b>	<b>(68)</b>
第一节 堆肥技术发展概况 .....	(68)
第二节 污泥的堆肥化处理 .....	(71)
一、堆肥化的基本原理 .....	(71)
二、生物固体的好氧堆肥工艺与设备 .....	(82)
三、堆肥品质要求与腐熟度 .....	(91)
第三节 污泥堆肥农业回用的安全性要求 .....	(94)
一、污泥堆肥对土壤生态的改良修复作用 .....	(94)
二、污泥堆肥对土壤的可能危害性 .....	(95)
三、污泥农业回用的安全性要求 .....	(96)
<b>第五章 城市污泥的能源化利用 .....</b>	<b>(106)</b>
第一节 城市污泥的厌氧消化处理与沼气利用 .....	(106)
一、污泥厌氧消化的基本原理 .....	(106)
二、污泥厌氧消化的条件与影响因素 .....	(106)
三、厌氧消化工艺与消化池类型 .....	(109)
四、污泥厌氧消化的沼气产生与利用 .....	(112)
第二节 污泥的焚烧处理与热能利用 .....	(115)
第三节 污泥的热化学处理与炼油技术 .....	(118)
<b>第六章 城市污泥的材料化利用 .....</b>	<b>(122)</b>
第一节 污泥制砖 .....	(122)

一、干化污泥制砖 .....	(122)
二、污泥焚烧灰制砖 .....	(125)
第二节 污泥制生化纤维板 .....	(126)
一、基本原理 .....	(126)
二、制造工艺 .....	(127)
三、生化纤维板的性能与问题 .....	(130)
第三节 污泥制陶粒 .....	(131)
一、陶粒及其分类 .....	(131)
二、河湖底泥制陶粒 .....	(132)
三、污水处理厂污泥制陶粒 .....	(134)
参考文献 .....	(137)



# 第一章 城市污泥处理处置概况

## 第一节 污泥的产生与环境污染问题

随着日益增加的人口和全球社会的日益城镇化，城市污水的产生量越来越大，生态环境面临日益严重破坏的压力，因此，城市污水的处理势在必行。在城市污水的处理过程中，必然产生大量的污泥（sludge），污泥通常是指主要由各种微生物以及有机、无机颗粒组成的絮状物。1995年，世界水环境组织为了准确地反映绝大多数污水污泥具有重新利用价值，将污泥（sludge）更名为“生物固体（Biosolids）”，其确切含义是：“一种能够有效利用的富含有机质的城市污染产生物”。鉴于我国现行标准仍沿用污泥一词，本书除作上述说明外，有时也采用原有的污泥名称。另外，本书中讨论的污泥（生物固体）也包括河湖底泥。

生物固体是城市污水处理及废水处理不可避免的副产品，产量巨大（据估计，全球一年可能产生干污泥量达1亿t），含有大量有机质和营养元素，有农用资源化价值，同时可能含有大量的重金属物质、病原菌、病毒微生物和大量的毒性有机物。因此，其产生、贮存、处理处置及资源化利用过程中均可能危害环境，特别是随着发展中国家城镇基础设施的快速发展，污泥海洋处理的禁止、严格填埋标准以及日益严格的农用

标准的制定与实施，生物固体的管理已成为目前一个世界性的社会和环境问题。主要表现在：侵占土地、易腐变臭、易污染土壤和地下水，还可能污染河流、湖泊及海洋等地表水体，其中的重金属和毒性有机物容易通过生态系统中的食物链迁移富集，对生态环境和人类健康具有长期潜在的危害性，需要引起高度重视。

## 第二节 污泥处理处置技术的发展历史与最新动向

### 一、发展历史

1896年，英国出现了第一座用于处理生活污水的厌氧消化池，1906年，在德国诞生了第一个双层沉淀池（殷霍夫池），1914年在英国建造了活性污泥污水处理试验厂，因此生活污水的生物处理已有100余年的历史，其污泥处理也有近百年历史。经历100余年的发展，生物固体的处理处置技术已日趋成熟。生物固体的处理处置基本流程如图1-1所示。

可见，生物固体的处理与处置是两个不同的概念。生物固体的处理方法主要包括：浓缩、消化、预处理（药剂处理、热处理）、脱水、干燥等，而其处置方法主要包括：填埋、海洋倾弃、肥料农用、焚烧及资源化利用等。从流程来看，生物固体的处理在前，处置在后。各种处理处置方法的单元操作有所不同，如表1-1所示。

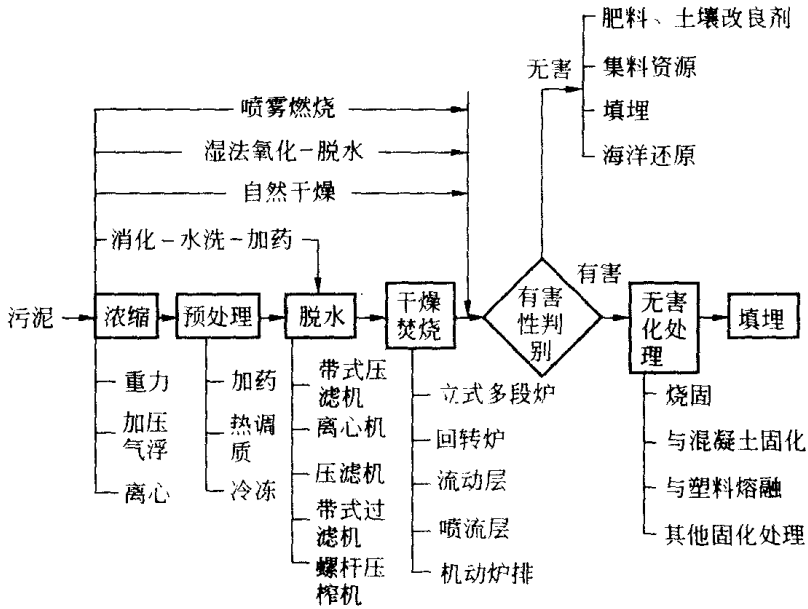


图 1-1 生物固体处理处置的基本流程

表 1-1 污泥的处理目的与单元操作

处理目的	单元操作	
浓 缩	重力式、气浮式、离心式、反浸透式、蒸发式	
消 化	厌氧、好氧	
预处理	药品调理	石灰、铁盐、硫酸铝、高分子絮凝剂
	热处理	高温高压式、低温加压式、冷冻融通式
脱 水	重力式、真空式、毡式、离心式、加压式	
干 燥	自然式、回转炉式、多段炉式、气流式、流动床式	
焚 烧	多段炉、回转炉、流动床炉、喷射式焚烧炉、AST法湿式氧化法、热分解燃烧炉	
处 置	填埋、投弃海洋、肥料、资源化	

生物固体处理处置的目的和原则包括：一是稳定化，通过稳定化处理消除恶臭；二是无害化，通过无害化处理，杀灭生物固体中的虫卵及致病微生物等有害物质；三是减量化，通过减量化处理，使之易于运输处置；四是利用，实现生物固体的资源化。流程中生物固体的处理主要是为了实现生物固体的稳定化、无害化和减量化，其处置方法主要是实现生物固体的利用与资源化。

生物固体处理处置技术的发展经历了近 100 年，对其发展阶段进行明确的区分是比较困难的，从整体来讲，生物固体的处理处置技术大体可分为：

### 1. 初始阶段

从 19 世纪末到 20 世纪 20 年代，此阶段是城市污水处理的起始阶段，污水处理相对较少，城市污水厂规模也较小，污泥产生量较少，其处理处置方法是将污泥简单地堆积，用于填平洼地，或在干化场脱水，或将污泥有效地用于农业进行土壤改良，增加土壤肥力。

### 2. 发展阶段

从 20 世纪 20 年代到 80 年代，此阶段发展了生物固体的厌氧消化技术，它使污泥可以得到稳定化与无害化处理，为后续减量化处理与利用创造了条件。生物固体厌氧消化技术具有许多优点，如：减少生物固体容积（ $1/2 \sim 1/3$ ），消除恶臭；产生生物能源——甲烷气；改善生物固体的脱水性能；杀菌、抗菌、灭虫卵等。另外，这一阶段还开发了好氧消化技术以加速生物固体的稳定化和无害化，又发展了各种生物固体的浓缩技术、药剂处理技术、机械脱水技术及加热焚烧技术等，并将各种方法组合成综合处理工艺，逐步能够较好地解决污泥处理问题。以生物固体消化为基础，形成了几大类综合处理工艺：

#### ①消化 + 自然干化；

②消化 + 药剂处理 + 机械脱水 + 人工加热干化；

③消化 + 浓缩 + 药剂处理 + 机械脱水 + 焚烧。

### 3. 成熟阶段

20 世纪 80 年代至今，此阶段的特点有两个，一个是进一步完善生物固体的处理技术，另一个是重视生物固体的处置与资源化利用。在生物固体处理技术方面，进一步取得进展，如生物固体消化工艺。从 20 世纪 80 年代起国际上开始研究开发好氧-厌氧两段消化、酸性发酵-碱性发酵两相消化及中温-高温双重消化等新工艺，但大多数还处在试验室阶段，达到生产规模的不多。

## 二、最新动向

### 1. 生物固体无害化工艺

除采用厌氧消化或好氧消化技术外，还开发了辐射处理( $\beta$  射线、 $\gamma$  射线) 技术，正在研究微波技术等。在生物固体的浓缩与脱水方面，除传统的重力浓缩外，又发展出气浮浓缩；脱水技术由空气干燥自然脱水(污泥干化床) 发展为机械脱水，而机械脱水设备则已由真空过滤发展为板推压滤、离心脱水和带式压滤。

### 2. 生物固体的处置技术与资源化利用

生物固体的处置技术与资源化利用自 20 世纪 80 年代开始引起世界各国的重视。1995 年世界水环境组织将“污泥”一词改为“生物固体”，标志着人们对城市污水污泥的处理与处置走向成熟，其突出的特点是强调“生物固体”的资源化利用，使其更好地参与生态系统物质循环(地球化学循环和能量流动)，走上人类社会与生态系统的和谐共处与可持续发展轨道。

近 20 年来，世界各国已越来越重视生物固体的堆肥化处置与

农用资源化技术以及能源化利用技术，逐渐淘汰并禁止了生物固体的投海处置技术。表 1-2 为欧美各国 1983 年生物固体的处置情况，表 1-3 为 1983 年日本生物固体的处置情况。

表 1-2 1983 年欧美各国污泥处置情况

国 名	年干污泥量 (万 t)	各种处置方法的比例 (%)				
		农田利用	填地	投海	焚烧	其他
英国	150	41	26	29	4	0
比利时	7	15	83	0	2	0
丹麦	13	45	45	0	10	0
法国	84	30	50	0	20	0
西德	220	39	49	2	8	2
希腊	0.3	0	100	0	0	0
爱尔兰	2	4	51	45	0	0
意大利	80	20	55	0	5	20
卢森堡	1.1	90	10	0	0	0
荷兰	23	60	27	11	2	0
奥地利	14	少量	大量	0	30	0
芬兰	13	40	45	0	0	16
挪威	5.5	18	82	0	0	0
西班牙	4.5	60	*	20	*	0
瑞典	21	60	*	0	*	0
瑞士	15	80	10	0	10	0
美国	450	31	24	18	21	6
欧洲合计	653.4	37	43	7	8	5

注：西班牙填地与焚烧为 20%；瑞典填地与焚烧为 30%。

表 1-3 日本 1983 年的污泥处置情况

类 别	填地	填海造地	投海	有效利用	合 计	
					(万 m <sup>3</sup> /年)	(%)
脱水泥饼	81.5	67.9	1.3	25.4	176.1	76
焚烧灰	14.8	12.3	0	3.0	30.1	13
干燥污泥	1.6	0	0	6.6	8.2	3.5
消化、浓缩污泥	0.3	0	16.9	0.5	17.7	7.5
合计 (万 m <sup>3</sup> /年)	98.2	80.2	18.2	35.5	232.1	
所占比例 (%)	42	35	8	15		100

另据美国环保署估计, 1988 年美国的 15 300 个城市污水厂年产干污泥为 760 万 t, 但进行有效利用的还不到 40%。在有效利用的污泥中, 用于农田的为 33.5 万 m<sup>3</sup>, 占 94%; 用于建材的 2 万 m<sup>3</sup>, 占 6%。进入 90 年代后, 英、美、欧盟各国的情况 (如表 1-4 所示) 也说明生物固体的农业回用仍是大势所趋, 并不断增加。

表 1-4 英、美、欧盟各国生物固体回用与处置情况

国别、 组织	各种处置方法比例 (%)						
	农业回用	填埋	焚烧	土地恢复	专用地	森林园艺	其他
英国	60	4	19	3	3	2	9
美国	61	17	14	—	2	—	6
欧盟	53	22	22	—	—	—	3

通过简单的对比可以看出, 从 20 世纪 80 年代到 90 年代, 西方发达国家对生物固体的处置与利用发生了较大的变化, 其

最新动向是：

- ①投海处置方法已被弃用；
- ②填埋处置所占比重有较大幅度降低；
- ③焚烧处置技术仍然比较重要；
- ④农业回用日趋重要。

这些都值得引起我们注意和借鉴。

我国城市污水处理及生物固体资源化利用起步较晚。1949年建国前，上海有3个二级污水处理厂投入运行，但都采用湿污泥直接作农肥或经干化床干化后作农肥，没有污泥厌氧消化等稳定处理设施。直至20世纪五六十年代，西安、太原、鞍山、成都等地城市污水处理厂相继建设了污泥厌氧消化池，才取得了一些污泥处理的经验。自20世纪七八十年代开始，城市污水处理发展较快，至1990年建成污水处理厂80余座，日处理能力277万 $\text{m}^3$ ，污水处理率仅为3.44%，而其中有污泥稳定处理设施的只有1/4，污泥处理、处置工艺及配套设备较为完善的还不到1/10。进入90年代，城市污水的处理有了较快的发展，处理量已有较大幅度增加，2000年全国湿污泥产生量已达2000万t/年（96%含水率），而其中进行稳定处理的很少，大部分用于填埋或农用，故存在严重的卫生与环境污染隐患，必须进行科学的管理与利用。

### 第三节 污泥处理处置与资源化的意义

生物固体含有大量的有机质和N、P、K等营养元素，如表1-5、1-6所示分别为广东省城市污水厂及桂林市城市污水厂生物固体中有机物及营养元素的含量。



表 1-5 广东省部分城市生物固体氮、磷、钾及有机质质量比

项 目	城市名称				牛粪
	广州	深 圳		佛山	
	消化污泥	生污泥	消化污泥	消化污泥	
有机质 (g/kg)	303.77	600.38	261.70	290.32	380.21
全 N (g/kg)	24.98	36.97	19.87	29.60	11.83
全 P (g/kg)	11.66	17.67	12.18	18.37	11.83
全 K (g/kg)	16.05	21.52	12.36	10.28	7.74
有效 N (mg/kg)	2316.94	2449.42	2325.87	2541.56	
有效 P (mg/kg)	1545.16	989.34	522.66	2356.14	
有效 K (mg/kg)	4549.04	899.36	396.28	4915.91	

表 1-6 桂林市城市污水厂不同处理方法产生的生物固体中营养物质质量分数

样品号	处理方法	有机质 (%)	N 的质量分数 (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 的质量分数 (%)	K <sub>2</sub> O 的质量分数 (%)
1	传统活性污泥法	55	7.6	1.1	0.8
2	氧化沟	39	3.8	1.6	0.6
3	A <sup>2</sup> /O	37	4.3	2.4	1.4

可见,生物固体中有机质和营养元素含量均很高。一般除 K 含量稍低外,其他营养物质含量甚至高于牛粪、猪粪等农家肥,所以特别适合于做土壤改良剂,用于农林牧地的土壤保养和改良修复。

近 30 年来,由于人口骤增,工业迅速发展,导致了酸雨