



城市污泥处理与利用

何品晶 顾国维 李笃中 等 编著



科学出版社

www.sciencep.com

城市环境污染与控制丛书

城市污泥处理与利用

何品晶 顾国维 李笃中 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为《城市环境污染与控制丛书》之一。

本书从城市污泥产生与城市发展的关系以及城市污泥产生的特性出发,从分析污泥的环境与资源特性入手,总结了污泥的生物、化学与物理性质;概括了污泥的处理和利用技术原理;介绍了污泥的预处理、热化学处理、生物处理、土地利用和处置及材料利用等典型技术环节的发展现状与趋势;综述了发达国家处理和利用污泥的实践;最后简要概括了城市污泥管理体系规划的思路与方法。

本书适合从事相关专业的科研人员、技术人员、管理工作,对此领域有兴趣的投资者和企业经营者,大专院校的师生及学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市污泥处理与利用/何品晶,顾国维,李笃中等编著. —北京:科学出版社, 2003

(城市环境污染与控制丛书)

ISBN 7-03-010682-2

I. 城… II. ①何…②顾…③李… III. ①城市-污泥-废物处理 ②城市-污泥-废物综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 053447 号

策划编辑: 杨 震 刘俊来 / 文案编辑: 吴寅泰 吴伶伶
责任校对: 刘小梅 / 责任印制: 安春生 / 封面设计: 李晓婷

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年4月第 一 版 开本: A5 (890×1240)

2003年4月第一次印刷 印张: 10 1/8

印数: 1—4 000 字数: 306 000

定价: 30.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

序

城市污泥，含城市污水厂污泥、给水厂污泥、排水沟道污泥、水体疏浚淤泥等，其量远大于城市生活垃圾量，而且城市污泥有较高的污染物含量。其中城市污水厂剩余污泥的有机质含量为城市污水的 10 倍，污水厂脱水污泥饼中的致病微生物含量比城市生活垃圾高几个数量级。此外，各种污泥中还可能含有重金属、剧毒有机物等污染物质。因此，城市污泥对环境可能造成的危害是严重的。

城市污泥产生于城市环境保护基础设施的运行与养护过程。从某种程度上讲，城市污泥的产生量体现了城市环保基础设施水平。目前，我国城市环保基础设施建设水平还不高，大部分城市的城市污水处理率目前还不到 20%，因此城市污泥产生量对环境管理的压力还不明显，污泥管理与处理技术水平都较低。污水厂污泥还缺乏系统的处理技术标准；多数新建成的城市污水厂，用于污泥处理的投资小于总投资的 20%（发达国家超过 50%），大量城市污水厂污泥任意堆置、无组织农用或排入水体；给水污泥（排泥水）、水体疏浚淤泥、排水沟道污泥等的管理更为粗放，处理技术应用水平更低。根据国家和地方的发展计划，未来 10 年我国城市污水处理率将有大幅度提高。显然，我国的城市污泥管理与处理、利用技术水平必须迅速提高，才能应对污染控制的要求，否则，如果对污泥管理不善，会使相关设施的巨额投入得不到应有的环境效益。

《城市污泥处理与利用》一书应时而生，对城市污泥产生特征、可处理性和利用特性以及相关技术体系的发展与应用现状做了全面的分析和介绍。此书由同济大学长期从事城市污泥处理与利用教学和技术研究的教师，以及国际知名的污泥管理与技术处理领域的学者共同参与编

写，相信它在解决城市污泥污染问题时会发挥积极作用。

解振华

前 言

污泥因其液-固相混合物的浆态特征而成为一类与液态和固态废弃物均有区别的废弃物。它不仅在产生时有浆态物的特征，而且其液、固混合状态具有一定的稳定性，通常仅在施加极大的外加作用力（物理、化学）时才能固、液分离，因此，其管理与处理技术体系均有不同于其他废弃物的特征。

城市污泥主要产生于城市市政设施运行、维护过程及建筑施工等活动中，主要分为城市污水厂污泥、给水厂污泥、排水沟道（疏通、养护）污泥、城市水体疏浚淤泥和城市建筑工地泥浆等。随着现代化城市的市政设施服务水平（如居民排水的污水厂接管率）的日益提高，城市污泥的产生量逐渐增大。对城市污水处理率达到 100% 的城市，仅城市污水厂污泥的产生量（含水率 98%）即大大高于城市居民产生的生活垃圾量，即使全部经脱水处理成含水率为 80% 的泥饼，其量仍可能为生活垃圾量的 40% ~ 60%，因此，城市污泥是现代城市产生的重要废弃物之一。

城市污泥含有种类广泛的污染物。各种对生物有毒害作用的重金属、列入优先污染物名录的各种有机毒害物质，以及易腐性有机物、致病微生物、植物养分等环境污染物均可能在城市污泥中检出，因此就其环境危害的深度和广度而言，城市污泥是一类有巨大污染危害的废弃物。城市污泥的处理与利用（消纳）应是城市环境管理的重要对象。

城市污泥除了具有巨大的污染潜力（来自其产生量和复杂的污染物组分），也具有明显的资源化潜力。城市污水厂污泥富含生物源有机质（质量分数为 60% ~ 80%）、植物养分（质量分数为 5% ~ 10%）和化学能量（干固体热值约 18MJ/kg）；给水厂污泥多含有水处理药剂组分；建筑工地泥浆的无机矿物组成与黏土接近。污泥的资源与污染二重性特征使其管理技术体系以处理与利用技术的综合为基本特征。完善的污泥管理技术体系，不仅能有效地控制污泥的环境污染危害，也能为城市生

产与农业生产过程提供一定的资源（如农业肥料、城市燃料和建筑材料）。城市的污泥处理与利用技术体系完善与否对一个城市是否能达到可持续发展战略所要求的环境管理目标有很大的影响。

我国城市废弃物环境管理的总体水平仍处于不断发展的过程中，由于城市市政基础设施的建设与运行管理水平尚不高（如绝大多数城市的污水处理率小于 50%），因此，城市污泥处理与利用技术和管理的发展均相对滞后。以城市污泥中环境影响最大的污水厂污泥处理而言，至今也没有一系列全面的技术标准（如填埋、焚烧）问世，此领域管理与技术的发展不仅远落后于城市污水处理，即使与城市生活垃圾管理相比也有很大的差距。与污泥产生有关的市政基础设施建设规模正在不断发展，在这样的背景下，应避免城市污泥管理成为城市环境管理中的新盲点。

本书较全面地概括了城市污泥处理与利用技术领域的最新发展状况，简单介绍了符合可持续发展战略思想的污泥综合化管理原理；对城市污泥的产生过程与影响因素做了细致的分析；全面系统地概括了城市污泥处理与利用技术体系；概要介绍了国外发达国家的污泥处理与利用技术体系的特点；讨论了规划城市污泥处理与技术体系的基本方法。其内容将有助于理解城市污泥的处理与利用技术特点，有助于专业人员对城市污泥处理与利用技术的选择应用和管理体系进行决策分析。希望能对我国城市污泥环境管理水平的提高有所帮助。

本书由同济大学环境科学与工程学院的何品晶教授、顾国维教授和台湾大学化学工程学系的李笃中教授联合编著。何品晶教授现任同济大学固体废物处理与资源化研究所所长，是国际水协会（IWA）会员及“污泥管理系统决策”专家组（Task Group on “Decision Making Map” on Sludge Management）成员。顾国维教授曾任同济大学常务副校长和该校环境科学与工程学院首任院长，长期从事污水厂污泥与给水厂污泥处理方面的研究，发表相关论著约 80 篇（部）。李笃中教授发表的相关论文有 80 余篇被 SCI 收录，现为国际水协会处置污泥专家委员会（Specialist Group on Sludge Management）的执委及“污泥管理系统决策”专家组（Task Group on “Decision Making Map” on Sludge Management）主席。

本书由何品晶教授编写第一章、第五章、第七章和第八章；顾国维教授和何品晶教授合作编写了第三章、第四章和第六章；李笃中教授与何品晶教授合作编写了第二章和第十章；同济大学固体废物处理与资源化研究所的邵立明副教授与何品晶教授合作编写了第九章。全书由何品晶教授统稿和定稿，李笃中教授审校。

硕士研究生威海雁、洪祖喜、张晓星、石爱娟、瞿贤为本书有关章节的编写查阅和整理部分文献资料，曹群科和康瑾承担本书的大部分文字输入和编辑工作，瞿贤对全书文字进行了校对。本书的编写还得到上海市重点学科“环境工程”专业建设项目的资助，在此一并表示感谢。

作 者

目 录

序

前言

第一章 引言	(1)
第一节 城市物流系统中的污泥	(1)
一、城市物流系统与污泥	(1)
二、城市污泥包含的种类	(2)
第二节 城市污泥的环境影响	(4)
一、城市污水厂污泥	(5)
二、城市给水污泥	(5)
三、城市水体淤泥	(6)
四、城市排水沟道污泥	(7)
五、城市建筑工地泥浆	(7)
第三节 城市污泥的处理与利用问题	(8)
一、城市污泥处理与利用的需求	(8)
二、城市污泥处理与利用体系计划管理原则	(9)
三、城市污泥处理与利用技术原则	(9)
第二章 城市污泥的产生与性质	(12)
第一节 城市污泥的来源与分类	(12)
一、城市污水厂污泥的来源与分类	(12)
二、城市给水污泥的来源与分类	(13)
三、城市排水沟道污泥的来源与分类	(14)
四、城市水体疏浚淤泥的来源与分类	(15)
五、城市建筑工地泥浆的产生特点	(16)
第二节 城市污泥的产生量分析	(16)
一、影响城市污泥产生的因素	(16)
二、城市污泥产生量测算	(22)

第三节 城市污泥的组成特点	(28)
第四节 城市发展与城市污泥	(31)
一、城市发展与污泥的产生	(31)
二、城市发展与污泥的源减量	(33)
三、城市发展与污泥的资源化利用	(37)
第三章 城市污泥处理与利用原理	(39)
第一节 城市污泥的基本性质	(39)
一、城市污泥的物理性质	(39)
二、城市污泥的化学性质	(51)
三、城市污泥的生物性质	(65)
第二节 城市污泥处理和利用的基本方向	(70)
一、城市污水厂污泥	(70)
二、城市给水污泥	(73)
三、城市排水沟道污泥	(77)
四、城市水体疏浚淤泥	(81)
第三节 城市污泥处理与利用基本技术路线	(85)
一、城市污水厂污泥	(85)
二、城市给水污泥	(90)
三、城市排水沟道污泥	(90)
四、城市水体疏浚淤泥	(91)
第四节 城市污泥处理与利用技术单元组成	(92)
一、城市污水厂污泥	(92)
二、城市给水污泥	(92)
三、城市排水沟道污泥	(92)
四、城市水体疏浚淤泥	(97)
第四章 污泥的预处理	(105)
第一节 概述	(105)
第二节 浓缩	(107)
一、重力浓缩	(108)
二、气浮浓缩	(109)
三、离心浓缩	(110)

第三节 调理	(111)
一、温差调理	(111)
二、化学调理	(113)
三、生物絮凝调理	(114)
第四节 机械脱水	(114)
一、机械脱水的原理	(114)
二、衡量污泥可脱水性的指标	(114)
三、衡量污泥机械脱水效果与效率的指标	(115)
四、压滤脱水	(116)
五、离心脱水	(119)
六、真空过滤脱水	(121)
第五节 干化和干燥	(123)
一、自然干化	(123)
二、污泥干燥	(126)
第六节 石灰稳定化	(130)
第七节 辐射处理	(131)
一、污泥辐射杀菌效果	(131)
二、辐射处理后的污泥稳定性	(132)
三、污泥辐射除臭效果	(134)
四、辐射能促进污泥中速效性氮、磷量的增加	(134)
五、辐射对污泥物理性能的影响	(134)
六、辐射技术的新发展——微波辐射	(135)
第五章 污泥的热化学处理	(137)
第一节 热化学处理的基本原理	(137)
一、生物质热化学转化过程	(137)
二、生物质热化学转化过程在污泥处理中的应用	(142)
第二节 热化学处理的物性依据	(143)
一、污泥的基本热化学特性	(143)
二、影响污泥热化学处理设备的物质	(144)
三、与污泥热化学处理的环境特征有关的物质	(145)
四、污泥热化学转化的特征温度	(146)

第三节 热化学处理工艺的分类	(146)
第四节 污泥焚烧	(148)
一、污泥焚烧的工艺系统特征	(148)
二、典型的污泥焚烧炉	(155)
三、湿式氧化	(160)
第五节 热解	(163)
一、技术过程	(163)
二、技术应用	(165)
第六节 熔融	(166)
第七节 热化学处理应用特性小结	(167)
第六章 污泥的生物处理	(168)
第一节 生物处理的作用和原理	(168)
第二节 生物处理体系构成与分类	(169)
第三节 厌氧消化	(170)
一、污泥厌氧消化的微生物学和生物化学原理	(170)
二、污泥厌氧消化动力学	(174)
三、污泥厌氧消化的影响因素	(175)
四、厌氧消化工艺	(182)
五、厌氧消化池池形与构造	(185)
六、厌氧消化的特点	(187)
第四节 好氧消化	(187)
一、好氧消化理论与机制	(188)
二、好氧消化的影响因素	(190)
三、好氧消化工艺及特点	(191)
四、污泥好氧消化池的构造	(192)
第五节 堆肥化	(193)
一、堆肥的基本原理	(194)
二、堆肥过程中的微生物学	(197)
三、堆肥过程的动力学基础	(200)
四、堆肥的影响因素	(201)
五、堆肥工艺流程	(204)

六、堆肥产品的分类及应用	(207)
七、污泥堆肥工艺的特点	(209)
第六节 其他生物过程	(212)
第七节 污泥生物处理应用特性小结	(214)
第七章 污泥的土地利用与处理	(216)
第一节 污泥土地消纳的依据与方法	(216)
第二节 污泥土地消纳的环境质量控制	(217)
一、污泥土地利用	(217)
二、污泥的土地处置	(223)
第三节 污泥的土地利用	(223)
一、污泥的肥料价值	(224)
二、污泥土地利用的风险	(226)
三、污泥的土地利用技术	(228)
四、污泥土地利用的用途	(230)
第四节 填埋	(231)
一、污泥填埋的原理与方法	(231)
二、污泥填埋的应用问题	(236)
第五节 污泥的其他土地消纳方法	(239)
一、填海造地	(239)
二、污泥专用处理场	(240)
第八章 污泥的材料利用	(244)
第一节 概述	(244)
第二节 烧结建材	(245)
一、污泥砖	(245)
二、人工轻质填充料	(249)
第三节 水泥制品	(250)
一、概况	(250)
二、技术处理特点	(251)
第四节 其他工艺	(254)
第九章 污泥处理与利用实践	(256)
第一节 污水厂污泥的处理与利用	(256)

一、美国对污水厂污泥的处理与利用	(256)
二、欧洲对污水厂污泥的处理与利用	(268)
三、日本对污水厂污泥的处理与利用	(280)
第二节 其他城市污泥的处理与利用	(283)
一、给水厂污泥	(283)
二、疏浚淤泥	(283)
第十章 规划城市污泥处理与利用	(288)
第一节 概述	(288)
第二节 规划路线与程序	(290)
一、城市污泥处理和利用规划路线	(290)
二、城市污泥处理和利用规划程序	(297)
第三节 城市污泥处理和利用规划与规划实施问题	(297)
一、城市污泥处理和利用规划问题	(297)
二、城市污泥处理和利用规划实施问题	(299)
参考文献	(301)

第一章 引 言

第一节 城市物流系统中的污泥

一、城市物流系统与污泥

城市是人类生产与生活活动的集中所在，维持城市生产与生活活动的依据是城市物流系统的运作。城市从自然与农业生态体系中输入大量的物资（物流）和能源（特殊的物流）；城市的工业部门以输入的物流为原料，加工制造成各种人类生产、生活所需的商品；城市的商业部门将商品和服务销售给消费者（城市与乡村）；城市居民在各种场所（主要是家庭）消费（享用）各种消费品；最后，城市的工业、商业与生活活动将各种输入的物流转化为废物输出至自然（环境）和农业生态体系。这就是现代城市物流系统流转（过程）的基本程序。城市环境问题的根本来源是城市产生的废物流对环境的危害，控制与优化城市环境质量，则应对各种城市废物流进行有效的管理，使其以量与质均与环境相容的方式排入环境。所谓相容指的是废物流不损害自然环境生态的质量与物流循环过程。

污泥是按废物相态特征分类的一类废弃物。污泥的相态特征首先是固液混合，即污泥是固体和液体的混合物，且所含的固体和液体依然保持各自的相态特征，这一点可以区别于含结晶水的无机盐和细胞组织含水的生物质（如新鲜的动、植物体等）。其次，污泥的固液组成比有一定的稳定性，在无外加作用力的条件下，其固液比例能保持相对的稳定，这构成了污泥应按其特殊的混合相态进行处理的依据。如果一种废弃物尽管产生时有固液相混合的特征，但排出后能自发地进行较彻底的固液分离，如矿物浮选排出液，在重力作用下，可自发地分离成尾矿砂和选矿液，则两者可分别按固体废物或液体废物进行处理。最后，污泥中所含的液体通常是水，这既是由于地球上水是丰度最大的液体所导致的，也由于水是人类生产与生活活动中应用最广泛的液体。

城市物流系统包括生产与生活两种类型的物流过程，它们都有可能产生污泥类废物。生产过程中产生的污泥有：纸浆污泥、石化工业产生的油泥、电镀污泥及生产废水处理（如重金属废水混凝沉淀处理）产生的污泥等。这些污泥类废物，尽管就产生区域而言是在城市的范围内，但从污染物组成特征上却更多的是反映了相关产业技术过程的特点，与城市特征的相关性反而不如产业的特征这么明显。另一种类型的污泥则产生于和城市生活活动相关的城市市政设施运行与维护过程，这些污泥具有鲜明的城市特征，甚至有些污泥仅产生于城市物流过程中，因此，该类型的污泥可称为城市污泥。城市污泥不仅是产生在城市这一特定的区域中，还具有城市活动的共性，即产生于城市市政（环保）与公用设施的运行和维护过程中。

二、城市污泥包含的种类

根据上述对城市污泥特征的定义，在现代城市物流系统中产生如下种类的城市污泥：

1. 城市污水厂污泥

城市物流系统中有难以胜数的用水环节，使用后的水大多转化为含不同种类与浓度污染物的污水。城市所产生的污水基本可以按来源分为两类：①工业污水，来自城市的工业部门，污染特征由相应的产业技术、过程决定；②城市污水，来自城市的居民区，商业服务业等非工业部门，其污染特征与具体的来源（如商业、居住区）关系较小，也就是说，不同来源的城市污水共性是它的主要方面。

城市污水的净化处理也是按来源分别安排的，城市污水处理厂的主体处理对象是城市污水。在实行城市排水合流制的城市或区域，一部分城市降雨产生的径流排水也在城市污水处理厂中处理；同时，部分城市的工业污水也汇入城市污水处理厂处理，但接入前均有对工业污水预处理的要求，使进入城市污水处理厂的工业污水的污染特征接近于城市污水（如对含重金属工业污水，应预处理去除其中大部分重金属污染后，方能汇入城市污水处理厂）。

城市污水处理厂在对污水的处理过程中，污水中的部分污染物转化

为可沉降物质排出，这股排出的物流是以固液混合为特征的所谓城市污水厂污泥。

2. 城市给水污泥

现代城市使用的大部分水是以管网分配形式供应的所谓自来水给水，目前绝大部分城市的给水水源（原水），均仅能在进行必要的净化处理后，才能达到给水的水质要求。原水的净化在专门的给水处理厂（自来水厂）完成，主要的处理工艺是混凝沉淀（将原水中的颗粒物、胶体和部分可溶态杂质转化为可沉降或可滤除的颗粒或胶体物质）和过滤（与沉淀一同完成对上述颗粒和胶体的最终去除），被去除的颗粒和胶体构成了城市给水污泥的固相部分，用于从沉淀池和滤池中排除这些固相物的水则构成了该污泥中的液相部分。

3. 城市水体疏浚淤泥

城市水体指的是主要汇水区域为城市建成区的自然或人工水体（河道、湖、塘等）。城市水体除了具有景观、航运等功能外，主要的功能是城市排水的通道与调蓄容量的组成部分。由于汇水区的特征，城市水体可能容纳的水流包括城市地表径流、城市污水和工业污水等。这些水流中所夹带的颗粒物、胶体，在一定的水力、水文条件下成为城市水体的沉积物，同时上述水流中的可溶性物质在一定的生物、化学作用过程中也会生成可沉降物质，转化为水体沉积物。

水体沉积物的积累将威胁到城市水体正常功能的维持，因此，城市水体有持续性的养护（疏浚）的需要，疏浚后的水体沉积物即为固水混合的城市水体疏浚淤（底）泥。

即使不考虑城市污水和工业污水进入城市水体对其沉积物的生成的加速影响，因城市汇水区的下垫面状况与农业或自然生态体系的不同，以不透水性与粗糙度低的表面为主，地面沉积物易被径流夹带，下垫面的不透水性又放大了径流的强度；加之径流主要以管道流方式汇入水体，缺乏非城市河道岸区植被带对径流中颗粒物的滤除缓冲，所以，城市水体的沉积物生成率高于农业或自然生态体系中的水体，城市水体的疏浚养护需求带有明显的城市特征，其疏浚淤泥成为城市污泥的构成之