

污泥资源化技术

赵庆祥 编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

污泥资源化技术

赵庆祥 编著

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

污泥资源化技术 / 赵庆祥编著. —北京:
化学工业出版社, 2002.9
ISBN 7-5025-4052-0

I. 污… II. 赵… III. 污泥利用-技术
IV. X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 066979 号

污泥资源化技术

赵庆祥 编著

责任编辑: 侯玉周

责任校对: 顾淑云

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 8 $\frac{1}{4}$ 字数 217 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4052-0/X·220

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国的城市污水和工业废水处理率逐年提高，2001年已分别达到约25%和94.7%。废（污）水处理的实质是将水中的污染物变成不可溶的固体（污泥）或无害的气体，从而达到净化水的目的。但是废水处理产生的污泥处理不当，也会对环境造成污染。因此，污泥处理、处置是废水处理过程中必不可少的重要环节，有人把它称做废水处理工艺的两大车轮之一。废水处理系统只有具备了污泥处理单元才称得上是一个完善、成套的处理工艺。然而与废水处理技术相比，污泥处理技术还相对落后，很大程度上制约了废水处理设施的建设和环境污染状况的迅速有效的改善。

污泥处理技术大致可以归结为两大类：一是抛弃型技术，污泥作为废物不利用；二是资源化技术，充分利用污泥中的有用成分，实现变废为宝。后者符合可持续发展的战略方针，有利于建立循环型经济，近年来获得广泛的关注，因此，本书着重介绍各种最新的污泥资源化技术。与废水处理体系相比，污泥处理在工程学上还谈不上有一个独立的体系，我们想以此为契机，在本书的内容编排上尝试构建一个工程学体系，较多介绍工程实例和实用性的工艺参数，企盼对污泥资源化工程实践有更多的参考价值。

本书共10章，第一、三~六、八、九章和第十章部分由赵庆祥编写，第二、十章由孙贤波编写，第七章由曹国民编写，全书由赵庆祥统稿。

本书编写过程中华东理工大学姚重华教授，日本西原环境卫生研究所香港事务所赵小夫先生和瑞典阿发拉伐（中国）有限公司施震荣先生提供了许多宝贵资料，提出了许多有益的建议，在此一并感谢。

限于编者水平和工程实践经验，书中错误和遗漏在所难免，敬请同行专家和广大读者指正。

编者 2002 年 5 月
于上海华东理工大学

内 容 简 介

本书主要介绍废水生物处理产生的污泥的资源化利用技术，全面系统地讨论了污泥的产生量及其性质，污泥成分的测定方法，污泥的调质、浓缩和脱水，污泥堆肥，污泥消化制沼气，污泥燃料化，污泥建材利用和其他资源化技术，以及污泥减量化技术，初步形成了污泥利用的工程学系统。书中介绍的大部分是近年来国内外比较一致认同，并获得实际应用的技术，具有方向性的最新研究成果。工程实例较多，图表数据翔实，力求为读者提供更多有用的工艺参数和有益的经验。本书具有一定理论深度，便于读者加深对各种技术原理的认识。

本书可供从事环境工程、给水排水工程设计、科学研究和管理的技术人员，以及大专院校有关专业的师生参考使用。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 污泥的分类与产生量	1
一、污泥的分类	1
二、污泥的产生量	2
第二节 污泥的性质	3
一、污泥的含水率和固体含量	3
二、污泥的脱水性能	6
三、污泥的理化性质	10
四、污泥的安全性	12
第三节 污泥处理处置的基本方法	13
一、污泥处理处置的一般原则	13
二、污泥处理处置的基本工艺流程	16
第四节 污泥资源化的发展趋势	17
第二章 污泥成分的测定	21
第一节 总碱度及 pH 值的测定	21
第二节 污泥含水率的测定	22
第三节 挥发性固体及灰分含量的测定	23
第四节 有机氮和蛋白质含量的测定	23
第五节 氨氮的测定	27
第六节 总氮的测定	28
第七节 总磷的测定	30
第八节 钾含量的测定	32
第九节 挥发性脂肪酸的测定	34
第十节 重金属和有毒物质的测定	34
一、预处理	34
二、镉的测定	35
三、汞的测定	36
四、总铬的测定	38
五、铜的测定	39
六、铅的测定	41

七、氰化物的测定	42
八、砷含量的测定	44
九、酚的测定	46
第三章 污泥的调质	49
第一节 污泥中水分的存在形式及其性质	49
一、表面吸附水	49
二、间隙水	50
三、毛细结合水	50
四、内部结合水	51
第二节 悬浮颗粒物的性质及粒子群的形成	51
一、颗粒物的基本特性	51
二、悬浮粒子群的形成	52
第三节 物理调质法	52
一、污泥淘洗法	53
二、热处理法	54
三、冷冻熔解法	56
第四节 化学调质法	58
一、胶体粒子的性质	58
二、凝聚剂的种类及其在水中的组分	59
三、凝聚剂对胶体粒子的作用	63
四、影响凝聚效果的因素	66
五、化学调质方法	69
第四章 污泥浓缩	73
第一节 重力浓缩	73
一、重力浓缩的基本原理	73
二、影响浓缩效果的因素	75
三、重力浓缩装置和工艺控制	76
第二节 气浮浓缩	81
一、气浮浓缩的基本原理	81
二、气浮浓缩装置和工艺控制	83
第三节 离心浓缩和水力旋流浓缩	89
一、离心浓缩	89
二、水力旋流浓缩	91

第五章 污泥脱水技术	93
第一节 真空过滤脱水	93
一、真空过滤设备	93
二、真空过滤脱水工艺控制	95
第二节 加压过滤脱水	98
一、板框压滤机	98
二、带式压滤机	100
第三节 离心脱水	101
一、离心脱水的基本原理	101
二、离心脱水设备	102
第四节 电渗透脱水	107
一、基本原理	108
二、电渗透脱水设备	109
第六章 污泥堆肥	111
第一节 堆肥工艺过程原理	112
一、前处理	112
二、一次发酵	114
三、二次发酵	115
四、后处理	116
第二节 堆肥化技术与设备	116
一、条垛堆肥系统	116
二、强制通风静态垛系统	117
三、发酵槽系统	118
四、堆肥工艺的操作控制	121
第三节 堆肥的质量控制	126
一、物理指标	127
二、化学指标	127
三、生物学指标	129
第四节 污泥堆肥工程实例	130
第七章 污泥消化制沼气	133
第一节 污泥消化制沼气的基本原理	133
一、厌氧消化的原理	133
二、有机物的厌氧分解	136

第二节 影响污泥消化效率的因素	137
一、污泥成分对消化作用的影响	137
二、温度对消化作用的影响	143
三、pH 值对消化作用的影响	144
四、污泥接种	145
五、污泥浓度	146
六、污泥投配率	150
七、搅拌	151
第三节 厌氧消化工艺	151
一、低负荷消化	151
二、高负荷消化	153
三、厌氧接触消化	154
四、二相消化	154
第四节 厌氧消化工艺设计	155
一、确定消化池大小的标准	155
二、确定设计参数时应考虑的几个问题	158
三、设备大小和构造	159
四、设计要考虑的其他问题	171
第五节 气体收集与处置	173
一、气体收集与贮存	173
二、气体利用	174
三、硫化氢的去除	175
第八章 污泥燃料化技术	177
第一节 污泥蒸发干燥的原理	177
一、多效蒸发法	178
二、多效式机械蒸汽再压缩法	179
第二节 污泥燃料化方法	181
一、HERS 法	181
二、SF 法	182
三、浓缩污泥直接蒸发法	184
第三节 污泥燃料化技术	184
一、脱水污泥与流动化油的混合特性	185
二、污泥的蒸发特性	187

三、污泥燃料的性能	188
四、二次污染的防治	189
五、效益分析	190
第四节 污泥普通干燥法	191
一、污泥的干燥特性	192
二、干燥速度	195
三、污泥干燥装置	202
第九章 污泥的建材利用	211
第一节 轻质陶粒的制备与应用	211
一、烧结工艺流程	211
二、轻质陶粒的应用	214
第二节 熔融材料和熔融微晶玻璃制备技术	215
一、污泥直接制熔融材料技术	215
二、污泥制微晶玻璃	217
第三节 污泥生产水泥	220
一、生态水泥的生产方法和性能	221
二、生态水泥的应用	223
三、污泥生产水泥的优越性	225
第十章 其他污泥资源化技术	227
第一节 活性污泥作粘结剂	227
一、剩余污泥做粘结剂时型煤的抗压强度	227
二、污泥在型煤中的分散特性	228
三、污泥型煤的气化及燃烧特性	231
第二节 剩余污泥制可降解塑料	234
第三节 污泥低温热解制燃料油	235
一、低温热解工艺流程	236
二、污泥低温热解处理的热平衡	237
三、污泥低温热解制油的反应条件及产品特性	238
第四节 污泥减量技术	239
一、臭氧污泥减量技术	239
二、生物污泥减量技术	242
三、膜分离污泥减量技术	244
主要参考文献	246

第一章 绪 论

废水处理目前常用的方法有物理法、化学法、物理化学法和生物法。但无论哪种方法都或多或少会产生沉淀物、颗粒物和漂浮物等，统称为污泥。虽然产生的污泥体积比处理废水体积小得多，如活性污泥法处理废水时，剩余活性污泥体积通常只占到处理废水体积1%以下，但污泥处理设施的投资却占到总投资的30%~40%，甚至超过50%。因此，无论从污染物净化的完善程度，废水处理技术开发中的重要性及投资比例，污泥处理占有十分重要的地位，有人形象地将污泥处理比作废水处理过程的两大车轮，缺一不可，必须引起高度重视。

第一节 污泥的分类与产生量

一、污泥的分类

污泥一般指介于液体和固体之间的浓稠物，可以用泵输送，但它很难通过沉降进行固液分离。悬浮物浓度一般在1%~10%，低于此浓度常称为泥浆。由于污泥的来源及水处理方法不同，产生的污泥性质不一，污泥的种类很多，分类比较复杂，目前一般可按以下方法分类。

(1) 按来源分 污泥主要有生活污水污泥，工业废水污泥和给水污泥。

(2) 按处理方法和分离过程分 污泥可分为沉淀污泥（包括物理沉淀污泥，混凝沉淀污泥，化学沉淀污泥）及生物处理污泥（包括剩余污泥，生物膜法污泥）。随着废水普及二级处理，目前一般废水处理厂的污泥大都是沉淀污泥和生物处理污泥的混合污泥。

(3) 按污泥的成分和某些性质分 污泥可分为有机污泥和无机污泥；亲水性污泥和疏水性污泥。生活污水处理产生的混合污泥和

工业废水产生的生物处理污泥是典型的有机污泥，其特性是有机物含量高（60%～80%），颗粒细（0.02～0.2mm），密度小（1.002～1.006g/cm³），呈胶体结构，是一种亲水性污泥，容易管道输送，但脱水性能差。混凝沉淀污泥，化学沉淀污泥以及沉砂池产生的泥渣大都属无机污泥，以无机物为主要成分的无机污泥往往被称之为沉渣。它的特性是有机物含量少、颗粒粗、密度大、含水率低，一般呈疏水性，容易脱水，但流动性差，不易用管道输送。

二、污泥的产生量

污泥的产生量是指各种废水净化处理后所排出的污泥量。由于废水的水质和处理方法不同，即使用相同的方法处理产生的污泥量也不一样，加之操作控制不同，污泥的含水率不定，推断污泥的产生量极为困难。据估计目前生物处理的废水量占废水总量的65%，其产生的污泥量占很大比例，因此本书各章均以生物处理污泥为主要论述对象，本节主要讨论生物处理污泥的产生量。

生活污水和工业废水生物处理过程中污泥产生的主要环节为：格栅，沉砂池，初沉池和二沉池。前三个环节产生的污泥来源于废水原来含有的悬浮固体而称为初沉污泥，二沉池产生的污泥则由废水中胶体和溶解性污染物经微生物代谢而产生，一般称二沉污泥或剩余污泥。据1996年对全国29家城市污水处理厂的调查，每处理万吨废水污泥的产生量为0.3～3.0t（干重）。1992年上海市以实际废水处理量核算的万吨废水污泥的产生量为2.2～3.2t（干重）。污泥的产率与多种因素有关，如废水水质、处理工艺和处理要求等。图1-1为活性污泥法处理废水时每千克生化需氧量（BOD）所产生的污泥量。图中建议的设计曲线是用来决定污泥处理设备能力的大小，所以比实际产率大。我国实行二级处理的城市污水厂污泥产生量中，初沉污泥约占60%～70%，剩余污泥为30%～40%。

2000年我国工业和城市生活废水排放总量为415亿吨，其中工业废水排放量为194亿吨，城市生活污水排放量为221亿吨。化学需氧量（COD）排放总量1445万吨，其中工业废水中COD排放量705万吨，生活污水中COD排放量为740万吨。由此可见工业

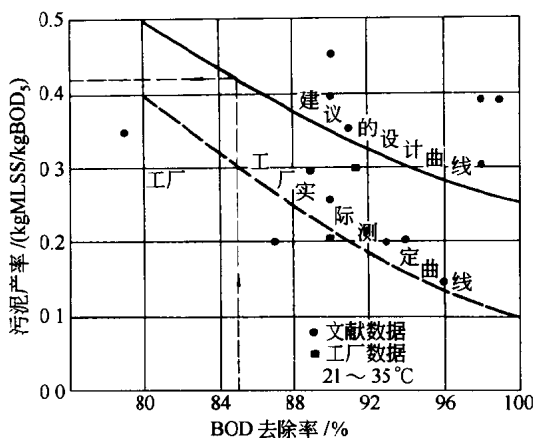


图 1-1 BOD 去除率对污泥产率的影响（石油化工废水）

废水和生活污水平均 COD 浓度大致相同。如果万吨废水污泥产生量的平均值为 2.7t（干重），415 亿吨废水 65% 用生物处理，则将产生污泥 728 万吨（干重）。2000 年全国工业废水处理率为 94.7%，生活污水 25%，按此计算我国每年产生的污泥量约 420 万吨，折合含水 80% 的脱水污泥为 2100 万吨。

第二节 污泥的性质

正确把握污泥的性质是科学合理地处理处置和利用污泥的先决条件，只有根据污泥的性质指标才能正确选择有效的处理工艺和合适的处理设备及资源化的趋向。因此，表征污泥性质的指标愈精确，取得的效益愈显著。通常需要对污泥的下述性质指标进行分析测定。

一、污泥的含水率和固体含量

单位质量污泥所含水分的质量百分数称为含水率，相应的固体物质在污泥中所含的质量百分数，称为含固量（%）。污泥的含水率一般都很高，而含固量很低，例如城市污水厂初沉污泥含固量在 2%~4%，而剩余活性污泥含固量在 0.5%~0.8%，密度接近 1g/

cm³。一般来说，固体颗粒愈小，其所含有机物愈多，污泥的含水率愈高。

污泥的含水率、固体含量和污泥体积可用如下方法计算。

污泥的含水率：

$$P_w = \frac{W}{W + S} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 P_w ——污泥含水率，%；

W ——污泥中水分质量，g；

S ——污泥中总固体质量，g。

固体含量：

$$P_s = \frac{S}{W + S} \times 100\% = 100 - P_w \quad (1-2)$$

式中 P_s ——污泥中固体含量，%；

W ——污泥中水分质量，g；

S ——污泥中总固体质量，g；

P_w ——污泥含水率，%。

污泥中水的体积：

$$V_w = \frac{W}{\rho_w} \quad (1-3)$$

式中 V_w ——污泥中水的体积，cm³；

W ——污泥中水分质量，g；

ρ_w ——污泥中水的密度，g/cm³。

污泥中固体的体积：

$$V_s = \frac{S}{\rho_s} \quad (1-4)$$

式中 V_s ——污泥中固体的体积，cm³；

S ——污泥中总固体质量，g；

ρ_s ——污泥的密度，g/cm³。

污泥的体积为污泥中水的体积与固体体积两者之和，即：

$$V = \frac{W}{\rho_w} + \frac{S}{\rho_s} \quad (1-5)$$

式中 V ——污泥体积, cm^3 ;
 W ——污泥中水分质量, g ;
 S ——污泥中总固体质量, g ;
 ρ_w ——污泥中水的密度, g/cm^3 ;
 ρ_s ——污泥的密度, g/cm^3 。

由(1-1)和(1-2)式可知:

$$W = \frac{S(100 - P_s)}{P_s} \quad (1-6)$$

将(1-6)式代入(1-5)式得

$$\begin{aligned} V &= \frac{S(100 - P_s)}{P_s \rho_w} + \frac{S}{\rho_s} = S \left(\frac{100 - P_s}{P_s \rho_w} + \frac{1}{\rho_s} \right) \\ &= S \left(\frac{100}{P_s \rho_w} - \frac{1}{\rho_w} + \frac{1}{\rho_s} \right) \end{aligned} \quad (1-7)$$

污泥是一种混合物, 固体物质包括有机物和无机物, 因此, 污泥的密度随其中的有机物和无机的比例不同而变化。一般有机物的密度为 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$, 无机物的密度为 $2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。如果含水率 90% 的污泥中 1/3 的固体物质是由无机物组成, 而 2/3 由有机物组成, 则全部固体的密度 ρ_{TS} 可按下式计算:

$$\frac{1}{\rho_{\text{TS}}} = \frac{0.33}{2.5} + \frac{0.67}{1} = 0.802$$

$$\rho_{\text{TS}} = \frac{1}{0.802} = 1.25$$

废水密度取 $1\text{g}/\text{cm}^3$, 一般不会有显著的误差, 则该污泥的密度为:

$$\frac{1}{\rho_s} = \frac{0.1}{1.25} + \frac{0.9}{1.0} = 0.98$$

$$\rho_s = \frac{1}{0.98} = 1.02\text{g}/\text{cm}^3$$

污泥体积可按下式计算:

$$V = \frac{S}{\rho_w \cdot \rho_s \cdot P_s} \times 100 \quad (1-8)$$

式中 V ——污泥体积, cm^3 ;
 S ——污泥中总固体质量, g ;
 ρ_w ——污泥中水的密度, g/cm^3 ;
 ρ_s ——污泥的密度, g/cm^3 ;
 P_s ——污泥中固体含量, %。

对给定污泥的体积近似与污泥中固体含量百分数成反比, 即:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_{s_2}}{P_{s_1}} \quad (1-9)$$

式中 V_1 ——污泥样品 1 的体积, cm^3 ;
 V_2 ——污泥样品 2 的体积, cm^3 ;
 P_{s_1} ——污泥样品 1 的固体含量, %;
 P_{s_2} ——污泥样品 2 的固体含量, %。

二、污泥的脱水性能

表 1-1 列出了几种代表性污泥的含水率。由表 1-1 可知, 一般污泥的含水率都比较高, 体积大, 不利于污泥的贮存、输送、处理处置及利用, 必须对污泥进行脱水处理。如 1m^3 含水率 95% 的生活污水污泥, 其体积约 1000L, 若脱水后含水率降低 10%, 则其体积减少 2/3; 含水率降低 30%, 其体积则减少 6/7。但是不同性质的污泥脱水的难易程度差别很大, 应根据其脱水性能, 选择合适的方法, 才能取得良好的效果。因此测定污泥的脱水性能, 对选择脱水方法具有重要的意义。

表 1-1 代表性污泥的含水率

名 称	含水率/%	名 称	含水率/%
初沉污泥	95	生物滴滤池污泥	
混凝污泥	93	慢速滤池	93
活性污泥		快速滤池	97
空气曝气	98~99	厌氧消化污泥	
纯氧曝气	96~98	初沉污泥	85~90
		活性污泥	90~94