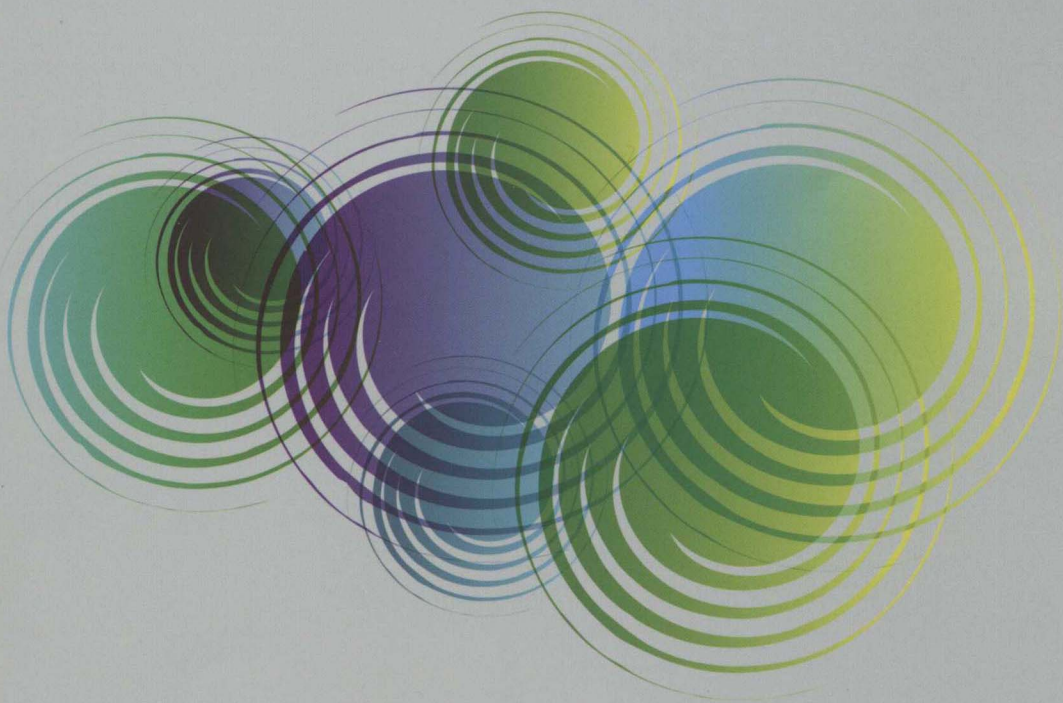


城市污泥厌氧发酵 产挥发性脂肪酸： 原理与应用

刘 和 著



科学出版社

城市污泥厌氧发酵产挥发性脂肪酸： 原理与应用

刘 和 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者多年来在污泥厌氧发酵产酸资源化利用领域研究的结果,系统总结了城市污泥的理化特性及其对厌氧发酵产酸的影响,阐述了污泥产酸的微生物学原理,着重阐述了污泥产酸发酵的各种工艺,最后对污泥产有机酸在污水脱氮除磷领域的应用进行了阐述。本书是作者对所主持的国家自然科学基金以及 863 计划等多项科研项目研究成果的整理和提炼,系统阐述污泥产酸及其资源化利用的专著,提出了很多新观点和新理论,其内容新颖、理论体系完整,具有科学性、前沿性、实践性和指导性。

本书可作为从事城市污泥处理处置技术、环境微生物学和环境工程学等专业的硕士生、博士生以及高校教师的教学及科研参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市污泥厌氧发酵产挥发性脂肪酸:原理与应用/刘和著. —北京:科学出版社, 2015.11

ISBN 978-7-03-046193-3

I. ①城… II. ①刘… III. ①城市—污泥处理 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 264164 号

责任编辑:陈岭啸 周 丹 崔路凯/责任校对:韩 杨

责任印制:赵 博/责任设计:许 瑞

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>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年11月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:20 1/4 插页:1

字数:420 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着我国污水处理能力快速增长,污水处理的副产物——城市污泥产量随之激增。2010年底,国内污泥产量已超过3000万t/a;还将以246万t/a的速度逐年递增;目前,我国的污水污泥有80%未得到妥善处理。污泥的处理已经成为未来数十年间我国环保工作的重点领域。

目前,国内外对于城市污泥的处理和处置研究主要是基于无害化、稳定化以及资源化三个方向,我国2011年发布的城市污水处理厂污泥处理处置技术导则中,明确污泥厌氧消化、堆肥、焚烧以及填埋四个方向作为未来主要的技术方向。但是由于技术、政策、管理等多方面的原因,我国采用厌氧消化处理污泥的比例很低,仅有50余座污水处理厂采用厌氧消化处理工艺,因此存在巨大的发展空间。

另外,我国城市污水处理厂近年来因提标改造,对氮磷排放标准的进一步提升(一级A排放标准),多数城市污水处理厂都面临碳源短缺问题,处理出水氮和磷难以达到排放标准,且运行不稳定。污水处理厂为此耗费大量成本购买乙酸、甲醇等碳源,提高了污水处理成本。

本书是作者从事污泥厌氧发酵十余年的研究成果汇总,提出了污泥厌氧发酵产挥发性短链有机酸,并利用有机酸作碳源强化污水脱氮除磷的学术理念,从而实现污泥的资源化利用。全书按照逻辑顺序及工艺流程为主线,分为八章,分别是第1章,主要介绍我国城市污泥污染及处理处置的总体概况;第2章,介绍污泥厌氧发酵产挥发性脂肪酸的原理及影响因素;第3章,介绍适合污泥发酵产酸的污泥预处理技术;第4章,介绍污泥厌氧发酵产酸调控技术;第5章,介绍污泥发酵产酸的微生物生态机理;第6章,介绍污泥厌氧发酵产酸的工程应用;第7章,介绍污泥发酵产酸的净化;第8章,介绍污泥产挥发性脂肪酸的资源化利用。

本人指导的博士生和硕士生对本书内容做出了贡献,他们学位论文中的部分研究结果被用于本书的撰写,他们是陈兴春(第2章)、刘晓玲(第2章,第3章,第4章)、祖叶品(第3章)、伍珂(第4章)、许科伟(第4章,第5章)、

郭磊（第4章）、聂艳秋（第4章）、周光杰（第6章）、肖航（第7章）、杨硕（第7章）、罗哲（第8章）。张丽慧参与了全书的统稿和文字编辑，在此对他们表示感谢。在长达十余年的研究历程中，江南大学陈坚、堵国成、李秀芬教授对本人学术思想的形成以及研究提出了许多有益的建议和帮助，在此表示衷心感谢！科学出版社的多位编辑对本书做了大量的编辑和文字校正工作，也对他们的辛勤工作表示感谢！

限于作者的水平，书中错误和疏漏在所难免，恳请同行和广大读者批评指正！

刘 和

2015年10月于江南大学

目 录

第 1 章 城市污泥污染及处理处置	1
1.1 概述	1
1.2 城市污泥产生与排放状况	1
1.3 城市污水厂污泥来源与组成	2
1.3.1 城市污泥的来源	3
1.3.2 城市污泥的分类	3
1.3.3 城市污泥的成分	5
1.4 城市污泥处理处置状况	6
1.4.1 城市污泥处理处置	6
1.4.2 城市污泥最终出路	8
1.5 城市污泥的危害	9
1.5.1 污泥对水体环境的影响	9
1.5.2 污泥对土壤环境的影响	9
1.5.3 污泥对大气环境的影响	10
第 2 章 污泥厌氧发酵产挥发性脂肪酸的原理及影响因素	12
2.1 概述	12
2.1.1 污泥厌氧发酵产酸的影响因素	14
2.1.2 城市污泥厌氧发酵产酸的微生物学机理	19
2.2 厌氧产酸发酵的 pH 选择	20
2.2.1 城市污泥不同 pH 条件下的厌氧发酵产酸	20
2.2.2 污泥有机物的溶出	22
2.2.3 污泥中氮磷释放情况	24
2.2.4 发酵过程中的水解率和酸化率	25
2.2.5 酶活性分析	25
2.2.6 葡萄糖、牛血清白蛋白发酵产酸实验	27
2.3 厌氧发酵产酸的底物污泥选择	29
2.3.1 污泥浓度对挥发性短链脂肪酸产率的影响	30
2.3.2 挥发性短链脂肪酸分布特征分析	31
2.3.3 总挥发性短链脂肪酸产生来源分析	32
2.4 厌氧产酸发酵的接种物选择	35

2.4.1	加热种泥与未加热种泥产乙酸的对比实验	36
2.4.2	加热种泥与未加热种泥产酸比较	36
2.5	C/N 调控污泥厌氧发酵产酸类型及其代谢机理研究	38
2.5.1	C/N 对发酵产酸类型的影响	39
2.5.2	C/N 对产酸过程气相组分变化的影响	41
2.5.3	不同 C/N 条件下产酸微生物群落分析	43
2.5.4	不同发酵产酸类型代谢机理分析	45
	参考文献	47
第 3 章	污泥预处理技术	50
3.1	概述	50
3.2	物理/化学联合预处理技术	51
3.2.1	预处理条件	51
3.2.2	污泥有机质溶出率的影响	52
3.2.3	固相和液相成分的变化	53
3.2.4	污泥颗粒粒径及表观结构的影响	55
3.2.5	总挥发性脂肪酸产率的影响	59
3.2.6	挥发性短链脂肪酸分布特征的影响	60
3.2.7	酸化过程固相和液相成分的影响	61
3.3	酶法预处理技术	63
3.3.1	概述	63
3.3.2	污泥有机质溶出的影响	65
3.3.3	污泥厌氧发酵产酸的影响	75
	参考文献	88
第 4 章	污泥厌氧发酵产酸调控技术	90
4.1	碱性发酵定向产乙酸技术	90
4.1.1	pH 对总挥发性短链脂肪酸产率的影响	90
4.1.2	pH 对发酵初始可溶性蛋白质和碳水化合物浓度的影响	91
4.1.3	pH 对发酵过程蛋白质浓度的影响	93
4.1.4	pH 对微生物种群结构的影响及其机理分析	93
4.1.5	强碱性条件下挥发性短链脂肪酸累积的主要代谢途径分析	98
4.2	微生物代谢抑制剂调控污泥发酵产乙酸	101
4.2.1	厌氧毒性实验	101
4.2.2	厌氧污泥活性测试	102
4.2.3	抑制剂浓度对产甲烷过程的影响	102
4.2.4	产甲烷抑制剂对发酵产酸过程的影响	106

4.2.5 产甲烷抑制剂对产氢产乙酸过程的影响	107
4.3 耦合工艺定向产乙酸	109
4.3.1 产氢产酸/同型产乙酸耦合作用促进乙酸产生	110
4.3.2 产氢产酸/同型产乙酸耦合系统的强化产乙酸的原理	115
4.3.3 耦合工艺定向产酸条件优化	119
4.3.4 气体循环和分批补料提高耦合系统产乙酸强度和乙酸产率	123
4.3.5 耦合系统的传质模型及动力学分析	128
4.3.6 基于耦合系统乙酸直接来源的分析	131
4.4 多级逆流产酸工艺	133
4.4.1 工艺的构建	133
4.4.2 底物浓度对多级逆流工艺厌氧发酵市政污泥产酸的影响	139
4.4.3 污泥停留时间 (SRT) 的影响	142
4.5 餐厨垃圾添加工艺	145
4.5.1 总固体浓度的影响	146
4.5.2 C/N 对食品废弃物与市政污泥混合厌氧发酵产酸的影响	152
4.5.3 进料浓度与两阶段发酵对混合发酵产酸过程的影响	161
4.5.4 产气抑制剂对污泥和食品废弃物混合发酵产酸过程的影响	167
参考文献	172
第 5 章 污泥厌氧发酵产酸的微生物生态机理	175
5.1 产乙酸微生物研究进展	175
5.1.1 水解发酵细菌	176
5.1.2 产氢产乙酸菌	177
5.1.3 同型产乙酸菌	178
5.1.4 产甲烷菌	181
5.1.5 硫酸盐还原菌	181
5.2 互营关系	182
5.2.1 产乙酸菌与产甲烷菌的互营关系	183
5.2.2 硫酸盐还原菌与甲烷氧化菌/产甲烷菌的互营关系	184
5.2.3 乙酸氧化菌与食氢产甲烷菌的互营关系	184
5.2.4 产氢产乙酸菌与同型产乙酸的互营关系	185
5.3 产甲烷微生物抑制机理与研究进展	195
5.3.1 生物动力学控制	196
5.3.2 热处理	197
5.3.3 化学抑制剂	197
5.4 产甲烷抑制剂对古细菌群落及同型产乙酸的影响	199

5.4.1	不同抑制模型下酸和气体累积状况	200
5.4.2	抑制产酸模型下的热力学	201
5.4.3	厌氧污泥古细菌群落结构	202
5.4.4	产甲烷抑制剂作用下的产甲烷种群动力学	205
5.4.5	产甲烷抑制状态下的同型乙酸菌群动力学	207
5.5	产甲烷抑制状态下发酵产酸菌群生态学	209
5.5.1	不同抑制模型下丙酸和丁酸累积状况	209
5.5.2	T-RFLP 网络比对	209
5.5.3	厌氧污泥细菌群落结构	214
5.5.4	非产甲烷菌群动力学	214
5.5.5	产氢产乙酸过程	218
5.6	产甲烷抑制状态下有机碳流分析	220
5.6.1	稳定性同位素 ^{13}C 比例判断产甲烷途径	220
5.6.2	有机碳平衡分析	222
5.6.3	产甲烷抑制状态下 $[\text{U-}^{14}\text{C}]$ 葡萄糖和 $[\text{2-}^{14}\text{C}]$ 乙酸的转化	223
5.6.4	产甲烷抑制状态下乙酸累积的微生物机理模型	226
	参考文献	228
第 6 章	污泥厌氧发酵产酸的工程应用	231
6.1	污泥厌氧发酵产酸及中试示范	231
6.1.1	中试产酸工艺	231
6.1.2	中试装置及运行方法	233
6.1.3	序批式发酵产酸过程中底物的溶出规律	234
6.1.4	序批式发酵过程中 VFAs 的浓度及组成	237
6.1.5	序批式发酵污泥的减量和产酸率	237
6.1.6	半连续式发酵产酸过程中底物的溶出规律	239
6.1.7	半连续式发酵过程 VFAs 的浓度及组成	241
6.1.8	半连续式发酵污泥的减量和产酸率	242
6.1.9	序批式运行和半连续式运行产酸指标对比	243
6.2	污泥厌氧发酵产酸示范工程	244
6.2.1	示范工程反应器与启动方法	244
6.2.2	污泥的预处理效果	247
6.2.3	启动和运行过程中的 VFAs 的产量	249
6.2.4	SCOD 的变化及产酸率	250
6.2.5	发酵罐中溶解性蛋白质和多糖的变化	251
6.2.6	发酵过程中氮磷的释放	252

6.2.7 半连续运行期的底物利用率	252
6.2.8 发酵液的组成分析	253
6.2.9 工程技术经济分析	255
参考文献	256
第 7 章 污泥厌氧发酵产酸的净化	258
7.1 概述	258
7.2 污泥脱水速率与泥饼含水率的表征差异性研究	259
7.2.1 污泥比阻与脱水速率的相关性	260
7.2.2 污泥比阻与泥饼含水率的相关性	260
7.2.3 污泥黏度与脱水速率的关系	261
7.2.4 污泥黏度与泥饼含水率的关系	262
7.3 生物淋滤法改善产酸污泥脱水性能	263
7.3.1 生物淋滤过程中 pH 的变化	263
7.3.2 生物淋滤过程中污泥比阻的变化	264
7.3.3 生物淋滤过程中泥饼含水率的变化	264
7.3.4 生物淋滤过程中 EPS 的变化	266
7.3.5 生物淋滤过程对 VFAs 回收率的影响	266
7.4 生物骨架调理产酸污泥脱水研究	267
7.4.1 不同木屑的选择	268
7.4.2 不同粒径大小的木屑投加量对 CST 的影响	268
7.4.3 不同调理剂组合添加对脱水性能的影响	270
7.4.4 中试平台的构建与调试	271
7.5 鸟粪石沉淀法回收污泥发酵液中氮磷	272
7.5.1 材料与方法	272
7.5.2 pH 的影响	273
7.5.3 $n(\text{Mg})/n(\text{P})$ 的影响	274
7.5.4 搅拌时间的影响	275
7.5.5 最优参数下氮磷回收效果	276
参考文献	277
第 8 章 污泥产挥发性脂肪酸的资源化利用	278
8.1 概述	278
8.1.1 VFAs 作外加碳源强化污水脱氮除磷	279
8.1.2 污泥发酵液强化污水脱氮除磷研究进展	280
8.2 污泥产酸发酵液作外加碳源强化污水脱氮除磷	283
8.2.1 发酵液回用工艺	284

8.2.2	常温条件下碳源投加剂量对脱氮除磷效果的影响	287
8.2.3	低温条件下碳源投加剂量对脱氮除磷效果的影响	290
8.2.4	发酵液中氮磷的回收对强化脱氮除磷效果的影响	294
8.2.5	低温条件下碳源投加位点对脱氮除磷效果的影响	297
8.3	污泥产酸发酵液强化污水脱氮除磷机理研究	300
8.3.1	污泥发酵液和污水中碳源的比较	300
8.3.2	发酵液投加后各指标沿程变化	301
8.3.3	发酵液投加对反硝化效果的影响	303
8.4	乙酸和发酵液强化污水脱氮除磷的效果比较	304
8.4.1	污水进水、乙酸碳源和发酵液的性质	304
8.4.2	A ² /O 反应器运行参数	305
8.4.3	污泥的培养与驯化	306
8.4.4	各阶段氨氮和总氮的去除	306
8.4.5	各阶段总磷的去除	308
8.4.6	各阶段 COD 的去除	309
8.4.7	乙酸和污泥发酵液作为碳源强化污水脱氮除磷的比较	310
8.4.8	碳源投加量的理论分析	310
	参考文献	311

彩图

第 1 章 城市污泥污染及处理处置

1.1 概 述

随着我国社会经济和城市化的发展,城市污水的产生及其数量在不断增加,城市污水处理厂正如雨后春笋般在全国各城市建成并投入运行。大量污水处理厂的兴建对防治我国的水污染问题起到了积极作用,但是由此带来的污水处理副产物——城市污泥产量随之激增。根据住建部资料显示,截止到 2013 年年底,全国城镇污水处理厂超过 3500 座,全国湿污泥(含水率 80%)产生量在 3000 万~3500 万吨。根据调研结果显示,我国污水处理厂所产生的污泥,有 80%没有得到妥善处理。污泥的含水量高,易腐烂,成分复杂,不仅含有大量有机质、N、P、K 等营养元素,而且含有大量的病原菌、细菌、寄生虫卵及重金属等有毒有害物质及致癌物质,不当存放时会产生强烈恶臭。同时,若污泥不经处理随意堆放,经过雨水的侵蚀和渗漏作用,极易对地下水、土壤等造成二次污染,直接危害环境安全和人类身体健康。目前,我国污泥随意堆放所造成的污染与再污染问题已经凸显出来,并且引起了全社会的关注。

2010 年初,住建部副部长仇保兴称,“十五”期间我国主要进行污水处理厂工作,“十一五”期间,重点是进行管网的配套,“十二五”将重点放在污泥处置等方面。由此可见,“十二五”乃至“十三五”期间,污泥处理处置将是我国环境污染治理的主要工作领域之一,将持续得到政府管理、科研研发以及市场投资方面的重点关注。

目前我国的污泥处理形势十分严峻,多数情况下仅实现了污泥的转移,而未能将污染成分无害化,资源化利用率更是亟待提高,引进国外的技术和相关设备不仅昂贵的投资费用难以接受,而且由于污泥成分的差别往往很难达到预期效果。为了加快我国污泥处理工艺的更新换代,以满足对环境保护的迫切要求,结合具体国情,依靠自身力量对城市污泥的处理、处置及资源化利用开展基础研究是十分必要的。

1.2 城市污泥产生与排放状况

随着我国城市化进程的加快,城市污泥的产量逐年升高。据环保部统计,至“十二五”期末我国湿污泥量(含湿量 80%)将突破 4600 万 t。到 2013 年 3 月 31 日,我国各城市、县总共有 3451 座污水处理厂,日污水处理量达到 1.45 亿 m^3 。到 2014 年 12 月,全国正常运行的生活污水处理厂达到 4000 座,“十二五”期间污水处理能力还将持续增加。我国的污水处理工艺大都以活性污泥法(占到 86.2%)为主。其处理污水的过程中,会产生大量的剩余污泥,其数量约占处理水量的 0.3%~0.5% (以含水率 97%计)。据有关统计资料显示,目前我国城镇污水处理厂产生的污泥量(干重)约为 1000 万 t/a, 占我国总固废量的 3.2%, 并且正以大于 10% 的年增长率逐年增长。

随着污水处理量的日渐提高,污水厂污泥产量也大幅上涨。据污水处理处置市场报告(2010), 2009 年我国城市污泥总产量达到 2050 万 t, 2010 年上涨至 3000 万 t, 若按照 15% 的年增长率变化, “十二五”期间城市污水处理厂的污泥产量将突破 4600 万 t。截至 2014 年年底。全国污泥处理处置设施建设仅完成“十二五”规划目标的 43.4%, 即 224.81 万 t/a, 这比国家规划的污泥处理量少 293.29 万 t/a。我国现有污水处理设施中, 有污泥稳定处理设施的还不到 25%, 多数污水处理厂的污泥处理办法是将污泥经适当浓缩运至垃圾填埋厂或直接堆放, 易造成二次污染和资源浪费, 如何合理处置污泥已成为非常紧迫的任务。

1.3 城市污水厂污泥来源与组成

城市污泥作为污水处理过程中必不可少的副产品, 不但产量急剧增加, 而且其中还含有种类广泛的污染物。如果前端污水中汇入工业废水, 则污泥中还可能含有重金属。城市污泥的处理、处置与综合利用一直是城市环境管理的重要对象。与此同时, 城市污泥除具有巨大的污染潜力(来自其产生量和复杂的污染物组分)外, 也具有明显的资源化潜力。城市污水厂污泥富含生物源和有机质(质量分数可达 60%~80%), 植物养分(质量分数为占 10%)和化学能量(干基热值约 18 MJ/kg), 污泥的污染与资源二重性使其管理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, 也能为城市发展和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等)。城市的污泥处理与利用技术体系完善与否是事关整个污水处理甚至环境污染控制的关键问题, 同时也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。

1.3.1 城市污泥的来源

城市生活污水污泥（简称城市污泥）是城市生活污水处理过程中产生的泥状物质总称，其来源和形成过程十分复杂，不同来源的污泥，其物理、化学和微生物学特性也不同。由于我国生活污水性质和处理工艺的相似性，使得城市污泥的来源和性质在总体上具有相似性。我国实行二级处理的城市污水厂污泥产生量中，初沉污泥和剩余污泥两者占到总量的 90% 以上，这也是污泥处理与处置的主要对象。表 1-1 列举了不同来源的污泥及其特性。

表 1-1 污泥来源及其特性

污泥类型	污泥来源	特点
栅渣	格栅	包括粒径足以在格栅上去除的各种有机和无机物；含水率一般为 80%，容重约为 0.96 t/m^3
无机颗粒物	沉砂池	无机固体颗粒的密度较大，沉降速度快；在这些固体颗粒中也可能含有有机物，特别是油脂，其数量的多少取决于沉砂池的设计和运行情况；无机固体颗粒的含水率一般为 60%，容重约为 1.5 t/m^3
浮渣	初沉池或二沉池	浮渣中的成分较复杂，一般可能含有油脂植物和矿物油、动物脂肪、菜叶、毛发、纸和棉织品、橡胶、烟头等；浮渣的容重一般为 0.95 t/m^3 左右
初沉污泥	初次沉淀池	由初次沉淀池依靠重力沉降作用排出的污泥，是污泥处理处置的主要对象，通常为灰色糊状物，多数情况下有难闻的气味；初次污泥的含水率一般为 92%~98%，典型值为 95%。污泥固体密度为 1.4 t/m^3 ，污泥容重为 1.02 t/m^3
化学污泥	化学沉淀池	由化学沉淀池排出的污泥，一般颜色较深，如果污泥中含有大量的铁，也可能是呈红色，化学沉淀污泥的臭味比普通的初沉污泥要轻
剩余污泥	二次沉淀池	传统活性污泥工艺等生物处理系统中排放的污泥，其中含有生物体和化学试剂，多为褐色的絮状物，是污泥处理处置的主要对象；剩余污泥没有特别的气味，很容易消化，含水率一般为 99%~99.5%，固体密度为 $1.35\sim1.45 \text{ t/m}^3$ ，容重为 1.005 t/m^3

1.3.2 城市污泥的分类

城市污水处理厂污泥可按不同的分类准则分类，其中常见的有以下几种。

1) 按污水的成分和某些性质分类

(1) 有机污泥。有机污泥主要含有机物，典型的有机污泥是剩余活性污泥，如活性污泥和生物膜、厌氧消化处理后的消化污泥等，此外还有油泥及废水固相有机污染物沉淀后形成的污泥。有机污泥的特点是污泥颗粒细小，往往呈絮凝体状态，密度小，持水能力强，含水率高，不易下沉，压密脱水困难。同时，有机

污泥稳定性差，容易腐败和产生恶臭。但有机污泥常含有丰富的 N、P 等养分，流动性好，便于管道输送。

(2) 无机污泥。无机污泥主要含无机物，如废水利用石灰中和沉淀、混凝沉淀和化学沉淀的沉淀物等，主要成分是金属化合物（包括重金属化合物）。这种污泥密度大，固相颗粒大，易于沉淀、压密和脱水，颗粒持水能力差，含水率低，流动性差，污泥稳定不腐化，但是可能出现重金属离子再溶出。

2) 按污泥处理的不同阶段

(1) 生污泥或新鲜污泥。未经任何处理的污泥。

(2) 浓缩污泥。经浓缩处理后的污泥。

(3) 消化污泥。经厌氧或好氧消化稳定的污泥称为消化污泥。厌氧消化可使 45%~50% 的有机物分解成 CO_2 、 CH_4 和 H_2O ；好氧消化是利用微生物的内源呼吸使自身氧化分解为 CO_2 和 H_2O ，消化污泥易脱水。

(4) 脱水污泥。经脱水处理后的污泥。

(5) 干化污泥。干化后的污泥。

3) 按污泥的不同来源

(1) 栅渣。污水中可用筛网或格栅截留的悬浮物质、纤维织品、动植物残片、木屑果壳、纸张、毛发等物质被称为栅渣。

(2) 沉砂池沉渣。沉渣是废水中含有的泥沙、煤屑炉渣等，它们以有机物质为主，但颗粒表面多黏附着有机物质，平均相对密度约为 2.0，容易沉淀，可用沉砂池沉淀去除。

(3) 浮渣。浮渣是不能被格栅清除而漂浮于初次沉淀池表面的物质，其相对密度小于 1，如动植物油与矿物油、蜡、表面活性剂泡沫、果壳、细小食物残渣和塑料制品等。二次沉淀池表面也会有浮渣，它们主要源于池底局部沉淀物或排泥不当，池底积泥时间过长，厌氧消化后随气体（ CO_2 、 CH_4 等）上浮至池面而成。

(4) 初沉污泥。初次沉淀池中沉淀的物质称为初沉污泥，它是依靠重力沉降作用沉淀的物质，以有机物为主（约占总干重的 65%），易于腐烂发臭，极不稳定，色呈灰黑，胶状结构，亲水性，相对密度约 1.02，需经稳定化处理。

(5) 剩余活性污泥。污水经活性污泥法处理后，沉淀在二次沉淀池中的物质称为活性污泥，其中排放的部分称为剩余活性污泥。剩余活性污泥以有机物为主，相对密度约为 1.004~1.008，不易脱水。

(6) 腐殖污泥。污水经生物膜法处理后，沉淀在二次沉淀池中的物质称为腐殖污泥。腐殖污泥主要含有衰老的生物膜与残渣，有机成分占 60% 左右，相对密度约为 1.025，呈褐色絮状，不稳定易腐化。

(7) 化学污泥。用化学沉淀法处理污水后产生的沉淀物称为化学污泥或化学沉渣。如用混凝沉淀法去除污水中的磷；投加硫化物去除污水中的重金属离子；

投加石灰中和酸性污水产生的沉渣以及酸、碱污水中和处理产生的沉渣均称为化学污泥或化学沉渣。

1.3.3 城市污泥的成分

城市污泥成分复杂,其中有机质、N、P、K 含量丰富,Ca、Mg、Fe 等矿物营养成分含量较高,还有一定数量的病原菌。此外,如果汇入工业废水,则污泥中可能还含有重金属成分(Zn、Cu、Cd、Cr、Pb、Ni、Hg、As、Sn 等)和有害难降解有机污染物。污泥中的有机污染物主要包括氯酚(CPs)、硝基苯(NBs)、氯苯(CBs)、多氯联苯(PCBs)、有机氯农药(OCPs)和多环芳烃(PAHs)。污泥的 pH 和总碱度基本在正常范围,pH 在 6.5~7.0 之间。根据我国污水处理厂地域的不同,污泥中的有机质含量有所不同,总体在 50%~70%之间。但是在我国南方地区,由于雨水较多的原因,污泥中的有机质含量普遍低于北方污水处理厂的城市污泥。

我国城市污水厂污泥的成分特点:

1) 脂肪、碳水化合物

脂肪含量低,约 20%;碳水化合物(淀粉、糖类、纤维)含量高,高于 50%。

2) 污泥的蛋白质

污泥中的蛋白质含量较高,一般蛋白质含量在污泥有机物总量的 50%以上,有时甚至可以达到 70%。所以污泥的碳氮比会比较低。

3) 重金属离子

某些情况下,如果含重金属的工业废水汇入城市污水,则污水污泥中含有一定量的重金属成分,主要是 Cd、Hg、Pb、Cr、As、Ni、Zn、Cu 等。污泥中重金属含量主要取决于工业废水排入污水处理厂的情况,我国城市污水中工业废水比重较大,故污水厂初沉及二沉污泥重金属含量较高,某些重金属含量超标严重。重金属污染物对人类有潜在的危害,与其它许多污染物不同,重金属的特殊危害在于它不能被微生物所降解。相反,一些重金属(如汞,铬)可以被微生物转化为毒性更大的化合物。因此,对城市污泥的农用就更加要小心谨慎。

4) 肥分

污泥中富含的 N、P、K 是农作物必需的肥料成分,有机腐殖质初次沉淀污泥含 33%,消化污泥含 35%,腐殖污泥含 47%,是良好的土壤改良剂。以济南市水质净化二厂产生的污泥为例,干污泥中有机质含量为 13.8%~17.9%,平均 15.6%,总氮为 16~31.8 g/kg,平均 23.76 g/kg,总磷为 6.8~13.1 g/kg,平均为 9.9 g/kg,总钾为 2.2~3.1 g/kg,速效氮、速效磷和速效钾平均分别为:2.14 g/kg、0.17 g/kg 和

0.34 g/kg，与国内外其他部分污水厂的污泥相比，有机质、总氮、总磷和总钾含量偏低。

5) 污泥热值

污泥中的热值取决于污泥中有机物的含量以及污泥中的水分。不同来源和性质的污泥，其干基热值有所不同，新鲜活性污泥的干基热值可达 3500 kcal/kg，消化后污泥热值相对较低。

6) 污泥中的病原体

污水经过处理其中的病原体（各种病原微生物和寄生虫）会进入污泥。新鲜污泥中检测得到的病原体种类和数量繁多，其中危害较大的是寄生虫。近年来，随着我国环境污染管理体制的完善以及相关法律法规全面实施，污水污泥中的重金属含量大大降低，但对于有机污染物和病原菌的研究和关注却相对较少，特别是病原菌，欠缺相关的标准法规来规范管理。因此需要更深入全面地了解有机污染物和病原菌的危害机理，以降低污泥的环境风险。

1.4 城市污泥处理处置状况

1.4.1 城市污泥处理处置

一般，污泥的处理按其处理目的和流程可分为处理（treatment）和处置（disposal）两个阶段，前者是指通过各种物理、化学或者生物的方法将污泥调理至一定状态，利于后续进一步处理的操作过程，如脱水、消化等等。这些处理过程一般在污水厂内完成，而污泥处置是指将污泥最终消纳，不需进一步考虑其最终去向的处置方法，如填埋、堆肥或焚烧等等。

目前我国城市污泥处理处置主要采用堆肥、农用利用、卫生填埋、焚烧和其他综合利用等多种形式。据粗略估算，我国污泥农用约占到总处置量 44.8%、卫生填埋约占 31%、焚烧干灰等其他处置约占 10.5%、没有做任何处置的污泥量约 13.7%。表 1-2 详细描述了各种污泥处理处置技术各自的优缺点。目前我国大部分污泥多为无序堆存或简单填埋，主要处置方式是脱水后直接与生活垃圾混合填埋（31%）或农业利用（44.8%）。环保部的技术管理文件《城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南(试行)》中提出了四条污泥处理的可行技术：第一条是污泥消化技术，第二是污泥堆肥技术，第三是污泥土地利用技术，第四是污泥干化焚烧技术。