

污泥处理技术与应用丛书



污泥无害化与资源化的 化学处理技术

廖传华 王小军 高豪杰 周玲 著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

污泥处理技术与应用丛书

污泥无害化与资源化的 化学处理技术

廖传华 王小军 高豪杰 周玲 著

中国石化出版社

内 容 提 要

《污泥无害化与资源化的化学处理技术》是“污泥处理技术与应用丛书”之一。本书分别对污泥的常温化学氧化技术(包括臭氧氧化、过氧化氢氧化、芬顿氧化、光催化氧化、高锰酸钾氧化、高铁酸钾氧化)、高温化学氧化技术(包括焚烧、湿式空气氧化、超临界水氧化)、热化学能源化利用技术(包括热解、气化、液化、炭化等)和热化学建材化利用技术(包括制吸附材料技术和制建筑材料技术)进行了详细的介绍。

本书不仅适用于石油、化工、生物、制药、食品、医药、市政、环保等专业的高等院校师生阅读,也可作为污水、污泥处理领域的管理人员、技术人员、设计人员和调试人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

污泥无害化与资源化的化学处理技术 / 廖传华等著.
—北京:中国石化出版社, 2019. 3
《污泥处理技术与应用丛书》
ISBN 978-7-5114-5244-3

I. ①污… II. ①廖… III. ①污泥处理-化学处理
IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 045130 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 554 千字

2019 年 5 月第 1 版 2019 年 5 月第 1 次印刷

定价:120.00 元

Preface 前言

随着世界各国工业生产的发展、城市人口的增加,城市工业废水与生活污水的排放量日益增多,在城市污水的处理过程中,必然产生大量的污泥。这些污泥中含有大量有害物质和有机物质,大量未经处理的污泥任意堆放和排放,不但会对环境造成新的污染,而且还会浪费污泥中的有用资源。随着污泥海洋处理的禁止和严格填埋标准以及日益严格的农用标准的制定与实施,如何将产量巨大、成分复杂的污泥,经过科学处理使其减量化、稳定化、无害化和资源化,已成为一个世界性的社会和环境问题。

污泥化学处理是采用化学的方法使污泥中所含有的有机质降解转化为无机小分子物质,或使污泥的组分在高温条件下发生化学转化生成其他物质。污泥的化学处理不仅可实现污泥的稳定化与无害化,也是实现污泥资源化利用的一种有效途径。污泥化学处理技术有多种,对于不同成分和特性的污泥,利用的方式不同,适用的方法也各异。一般来说,污泥的化学处理与资源化利用主要包括污泥能源化利用和污泥建材化利用两个方面。污泥能源化利用是使污泥中所含的有机物在一定的温度、压力及特定的装置中进行热化学反应,放出热能或转化为能源物质;污泥建材化利用是利用污泥中的无机物成分制作建筑材料。

本书分别对污泥焚烧、污泥湿式空气氧化、污泥超临界水氧化、污泥常温化学氧化、污泥热解制燃料油、污泥气化制燃料气、污泥液化制油、污泥热化学处理制活性炭和污泥热化学处理制建材等各种污泥化学处理技术进行了介绍。全书共分9章。第1章概述性地介绍了污泥的来源、分类、性质、危害,我国污泥处理处置的原则及相关政策与标准;第2章详细介绍了污泥焚烧处理技术及设备;第3章分别介绍了湿式空气氧化、催化湿式氧化和超临界水氧化这三种污泥热化学氧化处理技术及设备;第4章分别介绍了臭氧氧化、过氧化氢氧化、Fenton氧化、高锰酸钾氧化和高铁酸钾氧化这五种污泥常温化学氧化处理

技术；第5章详细介绍了污泥热解制燃料油的过程及各态产物的特性与应用前景；第6章分别介绍了污泥气化剂气化制燃料气技术和超临界水气化制燃料气技术；第7章分别介绍了污泥液化制油、污泥碳化和污泥制合成燃料这三种污泥燃料化利用技术；第8章介绍了污泥热化学处理制活性炭；第9章介绍了污泥的各种热化学处理建材化利用技术。

全书由南京工业大学廖传华、南京水利科学研究院王小军、盐城工学院高豪杰和南京凯盛国际工程有限公司周玲著写，其中第1章、第3章、第7章由廖传华、王小军著写，第2章、第6章由廖传华著写，第4章、第8章由王小军著写，第5章由高豪杰著写，第9章由周玲著写。全书由廖传华统稿。

在编写过程中，南京三方化工设备监理有限公司的赵清万、许开明等提出了大量宝贵的建议，研究生赵忠祥、王太东、闫正文、李洋、廖玮、陈厚江、洪至康等在资料收集与处理方面提供了大量的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书先后得到国家自然科学基金(项目编号：51722905)、中央财政水资源节约、管理与保护项目(项目编号：126302001000160081)、中央分成水资源费项目(项目编号：1261530210031)等支持，在此表示诚挚感谢！

本书著写历时三年，虽经多次审稿、修改，但污泥处理过程涉及的知识面广，由于作者水平有限，不妥及疏漏之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教，作者将不胜感激。

Contents 目录

第1章 绪论

1.1 污泥基础知识	1
1.1.1 污泥的来源与分类	1
1.1.2 污泥的性质	4
1.1.3 污泥的危害	11
1.2 污泥处理处置原则及相关政策与标准	13
1.2.1 污泥处理处置的原则	13
1.2.2 污泥处理与资源化法规及标准	15
1.3 污泥的化学处理方法	19
参考文献	21

第2章 污泥焚烧处理

2.1 污泥焚烧的基本原理及其影响因素	23
2.1.1 污泥焚烧的基本原理	23
2.1.2 污泥焚烧过程	26
2.1.3 污泥焚烧的影响因素	28
2.2 污泥焚烧工艺	29
2.2.1 污泥单独焚烧工艺	29
2.2.2 污泥混烧工艺	33
2.2.3 污泥焚烧最佳可行技术	39
2.3 污泥焚烧炉的类型	39
2.3.1 多膛式焚烧炉	39
2.3.2 流化床焚烧炉	42
2.3.3 回转窑式焚烧炉	45
2.3.4 炉排式焚烧炉	46
2.3.5 电加热红外焚烧炉	47
2.3.6 熔融焚烧炉	47
2.3.7 旋风焚烧炉	49

➤ 2.4 焚烧炉的设计	50
2.4.1 质量平衡分析原理	50
2.4.2 能量平衡分析原理	51
2.4.3 流化床焚烧炉的设计	51
2.4.4 多膛焚烧炉的设计	53
2.4.5 电炉的设计	54
➤ 2.5 焚烧炉的运行	54
2.5.1 焚烧炉运行的目标	54
2.5.2 过程控制	55
2.5.3 自动控制	56
2.5.4 维护	57
2.5.5 安全性	57
➤ 2.6 污泥焚烧污染控制	57
2.6.1 污染物排放	57
2.6.2 烟气排放控制	61
2.6.3 气味控制技术	68
2.6.4 焚烧飞灰和炉渣的处理与资源化	69
2.6.5 噪声控制技术	70
2.6.6 污泥焚烧的经济性分析	70
➤ 2.7 特种污泥的焚烧	72
2.7.1 造纸污泥的焚烧	72
2.7.2 电镀污泥的焚烧	78
2.7.3 制革污泥的焚烧	79
2.7.4 含油污泥的焚烧	80
2.7.5 污染河湖底泥的焚烧	81
➤ 参考文献	82

第 3 章 污泥热化学氧化处理

➤ 3.1 湿式空气氧化	86
3.1.1 湿式空气氧化技术及其特点	86
3.1.2 湿式空气氧化的机理	88
3.1.3 湿式空气氧化的动力学	89
3.1.4 湿式空气氧化的影响因素	89
3.1.5 湿式空气氧化的工艺流程	92
3.1.6 湿式空气氧化的主要设备	96
3.1.7 湿式空气氧化在污泥处理中的应用	97
➤ 3.2 催化湿式氧化技术	98
3.2.1 催化湿式氧化常用的催化剂	99

3.2.2	均相催化湿式氧化	100
3.2.3	非均相催化湿式氧化	101
3.2.4	催化湿式氧化的特点	105
3.3	超临界水氧化技术	105
3.3.1	超临界水及其特性	105
3.3.2	超临界水氧化的分类	109
3.3.3	超临界水氧化的反应动力学	112
3.3.4	超临界水氧化的反应路径和机理	114
3.3.5	超临界水氧化的需氧量及反应热	117
3.3.6	活性污泥的超临界水氧化处理	118
3.3.7	超临界水氧化反应器	119
3.3.8	基于超临界水氧化的多联产能源系统流程	126
	参考文献	132

第4章 污泥常温化学氧化处理

4.1	臭氧氧化	137
4.1.1	臭氧的理化性质	137
4.1.2	臭氧氧化降解有机物的机理	140
4.1.3	臭氧的制备	141
4.1.4	臭氧发生器	143
4.1.5	臭氧接触氧化反应器	145
4.1.6	臭氧接触反应装置设计	148
4.1.7	O_3/H_2O_2 氧化工艺	150
4.1.8	UV/ O_3 氧化工艺	152
4.2	过氧化氢氧化	155
4.2.1	过氧化氢的主要物理化学性质	155
4.2.2	过氧化氢的制备	156
4.2.3	UV/ H_2O_2 氧化工艺	158
4.2.4	UV/ H_2O_2/O_3 氧化工艺	161
4.3	Fenton 氧化	162
4.3.1	Fenton 试剂的催化机理及氧化性能	162
4.3.2	Fenton 试剂的类型	163
4.3.3	影响 Fenton 氧化性能的因素	165
4.3.4	UV/Fenton 氧化工艺	166
4.4	高锰酸钾氧化	167
4.4.1	高锰酸钾的主要物理化学性质	167
4.4.2	高锰酸钾的制备	168

4.5	高铁酸钾氧化	168
4.5.1	高铁酸钾的物理化学性质	169
4.5.2	高铁酸钾的制备	170
4.5.3	高铁酸钾氧化处理苯酚的机理	172
	参考文献	173

第5章 污泥热解制燃料油

5.1	污泥热解制油的发展与应用	178
5.2	污泥热解过程的机理及反应动力学	181
5.2.1	污泥的热解过程	181
5.2.2	污泥热解反应动力学	182
5.2.3	反应动力学方程的求解	183
5.3	污泥热解过程的影响因素	189
5.4	污泥热解制油工艺与条件控制	195
5.5	液体产物的特性及应用前景	198
5.5.1	液体产物的物理性质	198
5.5.2	液体产物的化学组成	198
5.5.3	液体产物的燃料特性分析	199
5.5.4	热解液加工产品	203
5.6	气体产物与固体产物的特性及应用前景	207
5.6.1	气体产物的特性及应用前景	207
5.6.2	固体产物的特性及其应用前景	208
5.7	污泥热解焦油的利用	208
5.7.1	污泥热解焦油的产生机理	208
5.7.2	污泥热解焦油的产量及化学组成	208
5.7.3	污泥焦油的处理方法	209
5.8	污泥微波热解技术	210
5.8.1	污泥微波热解工艺	210
5.8.2	污泥微波热解的影响因素	211
5.8.3	污泥微波热解机制	214
5.8.4	微波热解城市污泥的 H ₂ S 释放	215
5.9	污泥微波高温热解制富氢气体	217
5.9.1	污泥在不同粒径下的产气规律	217
5.9.2	不同含水率污泥的产气规律	218
5.9.3	不同热解温度下的产气规律	219
5.9.4	不同形态微波吸收剂作用下的产气规律	220
	参考文献	220

第6章 污泥气化制燃料气

6.1 污泥气化	224
6.1.1 污泥气化过程的机理	224
6.1.2 污泥气化过程的分类	226
6.1.3 污泥气化过程的影响因素	228
6.1.4 燃气特性	229
6.1.5 污染控制	230
6.1.6 气化炉	231
6.1.7 工业化应用	234
6.2 污泥超临界水气化	235
6.2.1 污泥超临界水气化的原理	235
6.2.2 污泥超临界水气化过程的影响因素	236
6.2.3 无机絮凝剂氯化铝对脱水污泥超临界水气化产氢的影响	237
6.2.4 污泥超临界水气化技术的发展与应用	239
参考文献	241

第7章 污泥热化学转化制燃料

7.1 污泥液化制油	243
7.1.1 污泥制油技术的研究现状	244
7.1.2 生物质液化制油的典型工艺	245
7.1.3 污泥液化制油工艺	247
7.1.4 连续运行条件与控制要求	248
7.1.5 污泥液化制油设备	249
7.1.6 污泥液化制油过程的影响因素	250
7.1.7 污泥液化的产物分析	251
7.1.8 污泥低温热解制油技术与液化制油技术的比较	252
7.1.9 污泥液化制油技术的发展趋势	253
7.2 污泥碳化	253
7.2.1 污泥碳化的分类	254
7.2.2 污泥碳化技术的发展现状	254
7.2.3 污泥低温碳化工艺过程及设备	256
7.3 污泥制合成燃料	256
7.3.1 污泥制合成燃料技术的发展	257
7.3.2 污泥脱水预处理	258
7.3.3 污泥合成固态燃料技术	259
7.3.4 污泥质废弃物衍生燃料技术	263

7.3.5 污泥合成浆状燃料技术	264
7.3.6 污泥合成燃料技术的优势	265
参考文献	265

第8章 污泥热化学处理制吸附材料

8.1 污泥制吸附材料的原理	269
8.1.1 污泥的组成	269
8.1.2 污泥制活性炭的机理	270
8.2 污泥吸附剂的研究进展	275
8.2.1 单一污泥为原料制备吸附材料	275
8.2.2 污泥添加生物质废弃物制备吸附剂	276
8.2.3 污泥添加矿物材料制备吸附剂	276
8.3 污泥基活性炭的制备方法	277
8.3.1 $ZnCl_2$ 活化法制备污泥基活性炭	277
8.3.2 H_2SO_4 活化法制备污泥基活性炭	279
8.3.3 KOH活化法制备污泥基活性炭	280
8.3.4 微波- H_3PO_4 活化法制备污泥基活性炭	280
8.3.5 水蒸气活化法制备污泥基活性炭	281
8.3.6 热解法制备污泥基活性炭	282
8.4 制备污泥基活性炭的影响因素	283
8.4.1 污泥基活性炭的表征	283
8.4.2 制备污泥基活性炭的影响因素	283
8.5 污泥基活性炭在污染治理中的应用	286
8.5.1 废水处理	286
8.5.2 大气污染防治	293
参考文献	296

第9章 污泥热化学处理制建材

9.1 污泥建材利用的途径与发展	300
9.1.1 污泥建材利用的途径与技术动向	300
9.1.2 国内外技术发展状况	302
9.2 污泥烧制制砖	303
9.2.1 烧制黏土多孔砖对黏土的要求	303
9.2.2 污泥替代黏土烧制制砖的技术难点	306
9.2.3 污泥制砖发展现状	307
9.2.4 烧制砖生产工艺	308

9.2.5	产品质量检测	309
9.2.6	污泥烧结制砖的优缺点分析	310
9.3	污泥制免烧砖	310
9.3.1	生产免烧砖的原料	310
9.3.2	免烧砖生产工艺	312
9.3.3	免烧砖强度形成原因	312
9.3.4	免烧砖制作优势与注意事项	314
9.3.5	国内免烧砖制作技术相关研究	314
9.3.6	存在的问题	316
9.4	污泥烧制陶粒	317
9.4.1	陶粒焙烧基本工艺	317
9.4.2	烧胀陶粒的膨胀理论	318
9.4.3	烧制烧胀陶粒的工艺要求	320
9.4.4	污泥烧制陶粒的方法	321
9.4.5	污泥烧制陶粒的工艺路线	322
9.5	污泥生产水泥	325
9.5.1	污泥生产水泥的预处理	326
9.5.2	水泥窑协同处理污泥的工艺流程	327
9.5.3	产品性能分析	328
9.5.4	污染物控制	329
9.5.5	水泥窑协同处置污泥的优势	329
9.6	污泥制生化纤维板	330
9.6.1	污泥制生化纤维板的反应机理	330
9.6.2	偶联剂的增强作用	331
9.7	污泥制作人工轻质填充料和轻质发泡混凝土	331
9.7.1	污泥制作人工轻质填充料	332
9.7.2	污泥制作轻质泡沫混凝土	332
9.8	污泥熔融石料化	333
9.8.1	污泥熔融石料化的工序	333
9.8.2	污泥熔融石料化使用情况	334
9.9	污泥制聚合物复合材料	335
9.9.1	污泥聚合物复合材料的制备工艺	335
9.9.2	影响污泥聚合物复合材料强度的因素	336
9.9.3	污泥聚合物复合材料的微孔化	336
9.10	污泥制木塑复合材料	337
	参考文献	339

第 1 章

绪 论

随着世界各国工业生产的发展、城市人口的增加,城市工业废水与生活污水的排放量日益增多,在城市污水的处理过程中,必然产生大量的污泥。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,是城市污水处理和废水处理不可避免的副产品。据统计,我国每年的污水排放量已达 $5.11 \times 10^{12} \text{t}$,污水处理过程中产生的污泥量约占处理水量的 $0.3\% \sim 0.5\%$ (以含水率为 97% 计),如水进行深度处理,污泥量还可能增加 $0.5 \sim 1$ 倍。这些污泥中含有大量有害物质,如寄生虫卵、病原微生物、细菌、病毒、合成有机物及重金属离子等,也含有一些有用物质如植物营养元素(氮、磷、钾)、有机物及水分等。因此,在其产生、储存、处理处置及资源化利用过程中应予以特别注意。目前,随着污泥海洋处理的禁止和严格填埋标准以及日益严格的农用标准的制定与实施,污泥的处理处置已成为一个世界性的社会和环境课题,主要表现为:侵占土地、易腐变质、易污染土壤和地下水,也可能污染河流、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,因此需要引起高度重视。另外,污水污泥的处理处置费用较高,在我国污水处理厂的全部建设费用中,污泥处理费用占 $20\% \sim 50\%$,甚至达 70% 左右,因此污泥处理是废水处理系统中的重要组成部分,不能忽视。大量未经处理的污泥任意堆放和排放,不但会对环境造成新的污染,而且还会浪费污泥中的有用能源。因此,如何将产量巨大、成分复杂的污泥,经过科学处理后使其减量化、稳定化、无害化、资源化,已成为我国乃至世界环境界广泛关注的课题之一。

1.1 污泥基础知识

1.1.1 污泥的来源与分类

污泥是在污水处理过程中产生的,它是由有机残片、细菌体、无机颗粒和胶体等组成的非均质体,而污水是由居民生活污水、市政污水、工业污水与地下水、地表水和雨水混合而

成，污水中包含有机物、无机物、毒性有机质和病毒微生物，废水中的有机成分主要是蛋白质、碳水化合物、脂肪酸和废油。

1.1.1.1 污泥的来源

污水未经处理不能排放有几方面的原因，首先，有机物的分解需要消耗氧，这样会减少水中生物新陈代谢所需氧量，而且有机物分解时会散发大量有臭味的气体。其次，未经处理的污水中含有大量对人体有毒的微生物。第三，废水中含有有毒物质，尤其是重金属物质，会对植物和动物的生长造成破坏，而废水中的磷酸盐和含氮化合物则会导致植物的疯长。因此，废水必须经过处理减少其中的有机物、含氮和含磷化合物、有毒物质及病毒微生物后才能排放。

各国制定了相应的污水排放标准，主要是限制排放污水中的五日生化需氧量(BOD_5)、化学需氧量(COD)、固体悬浮物(SS)、磷酸盐、氮、汞、酚类的含量。现代各国对污染物的排放标准要求越来越严格，污水必须经过机械处理、生化处理、脱氮脱磷三个处理阶段后才能达到污水排放标准要求。

机械处理是对污水进行初步净化，未经处理的污水先流过格栅，粗颗粒被分离出来，然后进入沉淀池进行沉淀，在这一阶段，可沉物质和悬浮物被分离。在机械处理阶段，50%~70%的悬浮物、25%~40%的 BOD_5 被脱除，分离出来的物质形成初级污泥，其成分为30%的无机物和70%的有机物。

污水生物处理过程是指利用微生物的新陈代谢，把污水中存在的各种溶解态或胶体状态的有机污染物转化为稳定的无害化物质，这些转化的无害化物质密度大于水的密度，可以通过沉淀作用沉淀下来形成污泥，这一阶段的污泥称为二级污泥。

第三处理阶段是把氮和磷除去。脱氮经过两个阶段：硝化阶段和脱硝阶段。废水中的氮首先被氧化成硝酸盐，然后通过化学方法把硝酸盐转变成单质氮，在这一过程中，脱硝阶段是实现氮循环的关键性一步，通过脱硝阶段把氮化合物转变成氮气排放到大气中，就完成了废水的脱氮。废水的脱磷是通过在沉淀池添加化学添加剂或通过生物的生化作用把磷转变为能够沉淀的含磷化合物而脱除。在此阶段，产生了含氮、含磷的污水污泥。

1.1.1.2 污泥的分类

城市污水处理厂污泥可按不同的分类标准分类，其中常见的分类方法有以下几种。

(1) 按污水的来源特性分类

按污水的来源特性可将污泥分为生活污水污泥和工业废水污泥。

生活污水污泥是生活污水处理过程中产生的污泥，其有机物含量一般相对较高，重金属等污染物的浓度相对较低；工业废水污泥是工业废水处理过程中产生的污泥，其特性受工业废水性质的影响较大，所含有有机物及各种污染物成分变化较大。

(2) 按污泥性质分类

根据污泥的性质，可分为以下四种：

① 有机污泥 主要含有机物，典型的有机污泥是剩余活性污泥，如废水经活性污泥法和生物膜法、厌氧消化处理后的消化污泥等，此外还有油泥及废水中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氮、磷等养分，流动性好，便于管道输送。

② 无机污泥 主要含无机物,如利用石灰中和酸性废水产生的沉渣、用混凝沉淀法去除污水中的磷、用化学沉淀法去除污水中的重金属离子等产生的污泥,其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,而且还可能出现重金属离子再溶出。

③ 亲水性污泥 主要由亲水性物质构成,这类污泥往往不易于浓缩和脱水。

④ 疏水性污泥 主要由疏水性物质构成,这类污泥的浓缩和脱水性能较好。

(3) 按污水的来源分类

根据污泥的来源,可将污泥分成以下几类:

① 栅渣 污水中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。

② 沉砂池沉渣 是废水中含有的泥砂、煤屑炉渣等,它们以无机物质为主,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 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 是初次沉淀池中沉淀的物质。初沉污泥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%),含水率高(一般在 95%~97%)、易腐烂发臭,极不稳定,色呈灰黑,胶状结构,亲水性,相对密度约为 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,其中排放的部分为剩余活性污泥。剩余活性污泥以有机物为主(占 60%~70%),相对密度在 1.004~1.008 之间,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(占干固体质量),相对密度约为 1.025,呈褐色絮状,不稳定易腐化。

初沉污泥、剩余活性污泥和腐殖污泥可统称为生污泥,生污泥经过消化池消化处理后为熟污泥或消化污泥。

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。

(4) 按污泥处理的不同阶段分类

按污泥处理的不同阶段可分为以下几类:

① 生污泥或新鲜污泥 是指未经任何处理的污泥。

② 浓缩污泥 是指经浓缩处理后的污泥。

③ 消化污泥 是指经厌氧消化或好氧消化稳定处理的污泥。厌氧消化可使 45%~50%的有机物被分解成 CO_2 、 CH_4 和 H_2O ;好氧消化是利用微生物的内源呼吸而使自身氧化分解为 CO_2 和 H_2O ,且消化污泥易脱水。

④ 脱水污泥 是指经脱水处理后的污泥。

⑤ 干化污泥 是指经干化处理后的污泥。

1.1.2 污泥的性质

污泥的来源不同，其物理、化学和微生物学特性存在差异，了解污泥的各种性质是选择合适的污泥处理处置方法的基础。

1.1.2.1 污泥的物理性质

表示污泥物理性质的指标主要有污泥含水率、污泥浓度、污泥体积、挥发性固体与灰分、污泥密度、污泥的脱水性能与污泥比阻、污泥的臭气、污泥的传输性、污泥的毒性和污泥的热值等。

(1) 污泥含水率

污泥中所含水分按其存在形式可大致分为四类：空隙水、毛细水、吸附水和内部水等四类，如图 1-1 所示。空隙水是指被大小污泥颗粒包围的水分，约占污泥中总水分的 70%，由于空隙水不直接与固体结合，因而很容易分离，此类水在调节池停留数小时后即可显著减少，是污泥浓缩的主要对象；毛细水是指在固体颗粒接触面上由毛细压力结合，或充满于固体与固体颗粒之间或充满于固体本身裂隙中的水分，约占污泥水分的 20%，此类水的去除需施以与毛细水表面张力的合力相反方向的作用力，如离心机的离心力、真空过滤机的负压力、电渗力或热渗力等，方可达到脱水目的；吸附水是吸附在污泥小颗粒表面的水分，占污泥水分的 7% 左右，污泥常处于胶体颗粒状态，比表面积大，在表面张力作用下能吸附较多的水分，表面吸附水的去除较难，不能用普通的浓缩或脱水方法去除，需采用混凝剂辅助进行分离或采用加热法脱除；内部水是指微生物细胞内部的液体，占污泥水分的 3% 左右，去除内部水必须破坏细胞膜，使用机械方法难以奏效，可采用高温加热或冷冻等措施将其转变成外部水，也可通过生物分解手段，如好氧氧化、堆肥化、厌氧消化等予以去除。

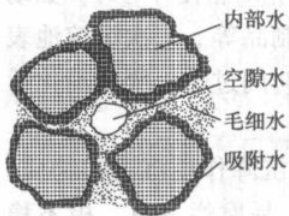


图 1-1 污泥水分分布图

污泥含水率 (P) 指污泥中所含水分的质量与污泥总质量之比的百分数：

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

式中 P —— 污泥的含水率，%；

W —— 污泥中水分质量，kg；

S —— 污泥中总固体质量，kg。

污泥的含水率一般都较高，相对密度接近于 1。

(2) 污泥浓度

污泥浓度也称污泥固体浓度，表示污泥中所含固体物质的质量与污泥总质量之比的百分数，即

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

式中 C —— 污泥浓度，%。

(3) 污泥体积

污泥的体积为污泥中水的体积与固体体积两者之和，即

$$V = \frac{W}{\rho_w} + \frac{S}{\rho_s} \quad (1-3)$$

式中 V ——污泥体积, m^3 ;

W ——污泥中水分质量, kg ;

S ——污泥中总固体质量, kg ;

ρ_w ——污泥中水的密度, kg/m^3 ;

ρ_s ——污泥中干固体密度, kg/m^3 。

污泥的体积、质量及所含固体物质浓度之间的关系,可用式(1-4)表示:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{100 - P_2}{100 - P_1} = \frac{C_2}{C_1} \quad (1-4)$$

式中 P_1 、 V_1 、 W_1 、 C_1 ——污泥含水率为 P_1 时的污泥体积 (m^3)、质量 (kg) 及固体浓度 (mg/L);

P_2 、 V_2 、 W_2 、 C_2 ——污泥含水率为 P_2 时的污泥体积 (m^3)、质量 (kg) 及固体浓度 (mg/L)。

(4) 挥发性固体(或称灼烧减重)与灰分(或称灼烧残渣)

挥发性固体近似等于有机物含量;灰分表示无机物含量。二者可通过“600℃高温减重法”试验测定。

(5) 湿污泥相对密度与干污泥相对密度

湿污泥质量等于污泥所含水分质量与干固体质量之和。湿污泥相对密度等于湿污泥质量与同体积水的质量之比值。由于水的相对密度为 1, 所以湿污泥的相对密度 γ 可用下式计算:

$$\gamma = \frac{P + (100 - P)}{P + \frac{100 - P}{\gamma_s}} = \frac{100\gamma_s}{P\gamma_s + (100 - P)} \quad (1-5)$$

式中 γ ——湿污泥相对密度;

P ——湿污泥含水率, %;

γ_s ——污泥中干固体平均相对密度。

干固体中有机物(即挥发性固体)所占百分比及其相对密度分别用 P_v 、 γ_v 表示, 无机物(即灰分)的相对密度用 γ_a 表示, 则干污泥的平均相对密度 γ_s 可计算为

$$\frac{100}{\gamma_s} = \frac{P_v}{\gamma_v} + \frac{100 - P_v}{\gamma_a} \quad (1-6)$$

由式(1-6)可得

$$\gamma_s = \frac{100\gamma_a\gamma_v}{100\gamma_v + P_v(\gamma_a - \gamma_v)} \quad (1-7)$$

有机物的相对密度一般等于 1, 无机物的相对密度一般约为 2.5~2.65, 以 2.5 计, 式(1-7)可简化为

$$\gamma_s = \frac{250}{100 + 1.5P_v} \quad (1-8)$$

则湿污泥的相对密度 γ 为