

WUNIRANSHAOREJIETEXING
JIQIFENSHAOJISHU

污泥燃烧热解特性 及其焚烧技术

刘亮 张翠珍 编著

中南大学出版社

WUNIRANSHAO
REJIETEXING
JIQIFENSHAOJISHU

获湖南省重点学科—动力机械及工程学科资助
湖南省自然科学基金资助项目(项目计划编号:04JJ40033)

污泥燃烧热解特性及其焚烧技术

刘 亮 张翠珍 编著

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

污泥燃烧热解性及其焚烧技术/刘亮编著. —长沙:中南大学出版社, 2006. 5

ISBN 7-81105-323-3

I. 污... II. 刘... III. 污泥处理 - 垃圾焚化 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 044568 号

污泥燃烧热解性及其焚烧技术

刘 亮 张翠珍 编著

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 中南大学金湘印刷厂

☐开 本 850 × 1168 1/32 ☐印张 5.75 ☐字数 143 千字

☐版 次 2006 年 6 月第 1 版 ☐2006 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7 - 81105 - 323 - 3/TH · 008

☐定 价 12.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

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,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。据统计,我国每年的污水排放量已达 5.11×10^4 亿吨。污泥是污水处理过程中产生的固体废物,数量约占处理水量的0.3%~0.5%(以含水率为97%计),湿污泥产量每年达153.3亿吨~255.3亿吨,且其产量在不断增加。污泥未经处理任意堆放和排放不但污染了环境,而且浪费了污泥中的有用资源。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、无害化、资源化,化废为宝,已成为我国乃至全世界环境科学与工程界的一个重要课题。

污泥中含有大量的有机物和一定量的纤维素、木质素,焚烧法正是利用污泥中有机成分较高、具有一定热值等特点来处理污泥的,是使污泥减量化、资源化、无害化的有效方法。自20世纪90年代以来污泥焚烧处理方法在德国、丹麦、瑞典、瑞士等发达国家已得到广泛应用,但是,在我国污泥焚烧处理才刚刚开始,对污泥的焚烧原理与焚烧利用技术的研究很少,在实际工程方面,只有深圳特区污水处理厂的污泥采用焚烧技术。本书收录了国内外污泥焚烧已取得的科技成果和实践经验及本书作者在污泥焚烧热解技术方面已做的研究成果。主要包括:污泥的基本性质和特点,污泥的形成、处理及处置,污泥的干燥工艺及燃烧机理;对污泥、污泥混煤燃烧过程进行了分析,重点介绍了污水污泥的热解特性及燃烧动力学特性,对污泥的燃烧技术及焚烧设

备进行了简要介绍,另外,还结合焚烧设备对污泥混烧煤、固体废弃物及其他工业过程中焚化处理技术进行了说明。最后,讨论了污泥焚烧对环境的影响,污泥焚烧时污染物的产生、排放及控制措施等。

本书在编写过程中得到了湖南省重点学科——动力机械及工程学科、湖南省自然科学基金项目资助(项目计划编号:04JJ40033),长沙理工大学李录平教授、陈荐教授、中南大学的周子民教授、东北电力大学吕太教授对本书进行了审阅并提出了宝贵意见,在此一并致谢。

由于编著者水平所限,不当之处,敬请读者指正。

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 引 言	(1)
第二节 污泥的分类	(3)
第三节 污泥的基本性质与特点	(5)
第四节 污泥的能源利用简介	(15)
一、污泥的厌氧消化处理与沼气利用	(15)
二、污泥的焚烧处理与热源利用	(20)
三、污泥的热化学处理与炼油技术简介	(22)
第二章 污泥的形成、处理及处置	(25)
第一节 污泥的形成	(25)
第二节 污泥的处理	(27)
一、污泥的浓缩	(28)
二、污泥的消化	(33)
三、污泥的脱水、干燥处理	(38)
第三节 污泥的处置	(48)
一、污泥作为肥料在农业上的应用	(48)
二、污泥的陆地填埋处理	(51)
三、污泥的投海处置	(52)
四、污泥的焚烧处置	(52)
第四节 污泥处置现状和未来污泥的处置发展方向	(55)

一、污泥处置现状	(55)
二、污泥处置的发展趋势	(58)
第三章 污水污泥的干燥过程及燃烧机理	(59)
第一节 概 述	(59)
第二节 水分对污泥燃烧的影响	(60)
一、污泥含水量对污泥燃烧设备设计和运行的影响	(60)
二、干燥过程对污泥燃烧过程的影响	(64)
第三节 污泥的气化	(67)
一、污泥气化技术过程	(67)
二、气化炉	(70)
第四节 流化床中污泥挥发分、焦炭的燃烧过程	(73)
一、流化床中污泥挥发分的释放和燃烧过程	(73)
二、污泥中焦炭在流化床中的燃烧过程	(76)
第四章 污泥及其混煤的燃烧热解特性	(77)
第一节 污泥的基本特性	(77)
一、污泥的成分	(77)
二、污泥的干燥特性	(80)
三、污泥的发热量	(82)
第二节 污泥的燃烧过程	(83)
第三节 污泥的燃烧热解反应动力学分析	(85)
一、热重分析法	(85)
二、热重法研究污泥的燃烧特性	(89)
三、热重特性分析	(92)
四、热解动力学分析	(93)
五、反应动力学参数的求解	(96)

第四节 污泥与煤的混烧特性	(99)
一、污泥和煤混合试样的基本特性	(100)
二、污泥和煤的混烧特性	(102)
第五章 污泥的焚烧技术	(109)
第一节 概 述	(109)
第二节 污泥焚烧的基本原理及其影响因素	(110)
一、污泥焚烧基本原理	(110)
二、焚烧过程	(111)
三、污泥焚烧的影响因素	(115)
第三节 污泥焚烧技术及焚烧设备	(118)
一、多膛炉(多段焚烧炉)	(119)
二、流化床焚烧炉	(123)
三、炉排式污泥焚烧炉	(127)
四、回转窑式污泥焚烧炉(转炉)	(128)
五、鲁奇公司 Etagenwirbler 炉	(129)
六、污泥熔融焚烧炉	(130)
第四节 污泥混烧技术	(132)
一、在燃煤发电厂混烧污泥	(133)
二、燃煤流化床炉中的污水污泥混烧	(135)
三、与固体废弃物混烧焚化技术	(136)
第六章 污泥焚烧过程中污染物的排放及其控制	(139)
第一节 污泥燃烧过程的污染物	(139)
一、城市污泥焚烧处理过程中污染物的种类	(141)
二、污泥焚烧产生的污染物	(142)
第二节 污水污泥焚烧污染物的排放控制	(147)
一、飞灰	(147)

二、重金属	(147)
三、汞	(150)
四、二噁英	(152)
五、 SO_2 、 HCl 和 HF	(153)
第三节 煤燃烧过程中 NO_x 和 N_2O 形成机理及其在 污泥燃烧中的应用	(160)
一、煤燃烧过程中 NO_x 和 N_2O 形成机理	(160)
二、污泥特性	(162)
第四节 污泥在 FBC 锅炉燃烧中 NO_x 和 N_2O 的排放	(163)
一、粒状干污泥燃烧过程中 NO_x 和 N_2O 的排放	(163)
二、湿污泥燃烧时 NO_x 的排放	(166)
第五节 污泥混煤燃烧时污染物的排放	(166)
一、煤粉炉中污泥混煤燃烧	(166)
二、污泥混煤在流化床锅炉中的燃烧	(168)
参考文献	(170)

第一章 概 论

第一节 引 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,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,是城市污水处理及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 5.11×10^4 亿吨。污泥是污水处理过程中产生的固体废物,其产量巨大,数量约占处理水量的 $0.3\% \sim 0.5\%$ (以含水率为 97% 计),如进行深度处理,污泥量还可能会增加 $0.5 \sim 1.0$ 倍。污泥的成分很复杂,它是由多种微生物形成的菌胶团及其吸附的有机物和无机物组成的集合体,除含有大量的水分外,还含有难降解的有机物、重金属和盐类以及少量的病原微生物和寄生虫卵等。污泥中的有机质和营养元素,具有农用资源化价值,但其他物质如:重金属、病原菌、病毒和毒性有机物,则可能危害环境,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。随着世界各国城市化和工业化的快速发展,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。主要表现在:侵占土地、易腐变臭、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。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,污泥处理费用约占 20% ~ 50%,甚至达 70% 左右。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、无害化、资源化和稳定化,已成为我国乃至全世界环境界广泛关注的课题之一。

污泥最终处理措施一般用作农肥和进行填埋、露天搁置、焚烧、热解等。采用较多的是填埋法,但由于其体积庞大和高度的渗滤性,这种处理方法的成本越来越高。而露天搁置,利用太阳能脱水,可节约能源,但挥发气体和渗滤液对环境造成严重的污染。堆肥是可资源化利用的处理方法,但污泥中的重金属含量超过国家标准,对农作物的生长有危害,甚至形成食物链中毒现象。相比之下用焚烧法处理污泥,具有减容化、无害化、快速化、便利化、能源化、多用性等优点而日益受到重视。热解法不但可以得到宝贵的气体、液体燃料,同时可以得到性能很好的吸附材料,其显著的优点是操作系统封闭,无污染气体排放,几乎所有重金属颗粒残留在固体剩余物中,对环境影响大大减小,减容效率高。因此研究污泥的燃烧热解特性,对污泥处理处置技术的进一步发展具有重要意义。

城市污泥是城市废水处理的终端产物。城市污泥即使经过脱水处理后水分仍较多,热值较低,若直接作为燃料不易稳定燃烧,而且燃烧产生的热量较难满足工业锅炉供热和发电的需要。因此考虑将城市污泥脱水后和煤混合作为锅炉燃料,为城市污泥的最终处理寻求一条经济合理的途径,以达到节约能源、提高企业经济效益和保护环境的目。研究城市污泥和煤的混料的燃烧

规律,对于污泥的工业应用、资源化处理具有重大的现实意义。

第二节 污泥的分类

一、污水污泥的分类

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

(1)生活污水污泥 生活污水处理过程中产生的污泥。生活污水污泥中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。

(2)工业废水污泥 工业废水处理过程中产生的污泥。工业废水污泥的特性受工业性质的影响较大,其中含有机物及各种污染物成分也变化较大。

2. 按污水性质分类

(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 无机污泥主要含无机物,如利用石灰中和废水沉淀产生的、混凝沉淀和化学沉淀等,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,而且还可能出现重金属离子再溶出。

(3)亲水性污泥 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 疏水性污泥主要是由疏水性物质构成,这类污泥的浓缩和脱水性能较好。

3. 按污泥处理的不同阶段分

(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 经厌氧消化或好氧消化稳定处理的污泥称为消化污泥。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 经脱水处理后的污泥。

(5)干化污泥 干化后的污泥。

4. 按污泥的不同来源分

(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、毛发等物质被称为栅渣。

(2)沉砂池沉渣 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 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。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%),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(占 60% ~ 70%), 相对密度 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(占干固体重量), 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。

第三节 污泥的基本性质与特点

污水污泥的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存在差异, 了解污泥的各种性质, 是选择合适的污泥处理方法和焚烧处理技术的基础。

一、污泥的物理性质

1. 污泥含水率

污泥的含水率一般都很大, 相对密度接近于 1。污泥中所含水分的多少称含水量。污泥含水量用含水率来表示, 即单位重量的污泥所含水分的重量百分数。

污泥的含水率可用如下公式计算。

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

式中 P_w ——污泥含水率, %;
 W ——污泥中水分重量, g;
 S ——污泥中总固体重量, g。
 一些污泥的含水率见表 1-1。

表 1-1 代表性污泥的含水率

名 称	含水率/%	名 称	含水率/%
栅渣	80	浮渣	95 ~ 97
沉渣	60	生物滴滤池污泥	
腐殖污泥	96 ~ 98	慢速滤池	93
初次沉淀污泥	95 ~ 97	快速滤池	97
混凝污泥	93	厌氧消化污泥	
活性污泥		初次沉淀污泥	85 ~ 90
空气曝气	98 ~ 99	活性污泥	90 ~ 94
纯氧曝气	96 ~ 98		

2. 污泥密度

(1) 污泥相对密度 污泥的密度是指单位体积污泥的质量, 其数值通常以污泥相对密度, 即用污泥重量与同体积水的重量之比来表示。污泥相对密度(湿污泥的平均密度)的计算公式为:

$$\gamma = \frac{100\gamma_s}{P_w\gamma_s + (100 - P_w)} \quad (1-2)$$

式中 γ ——污泥相对密度;
 P_w ——污泥含水率, %;
 γ_s ——污泥中干固体相对密度。

(2) 污泥干固体相对密度 污泥干固体包含有有机物和无机

物。污泥干固体相对密度与其中的有机物和无机物的含量比例有关, 这两者的比例不同, 则污泥干固体相对密度也不同。若以 P_v 、 γ_v 分别表示污泥干固体中挥发性固体(有机物)所占比例和相对密度; 以 γ_f 表示灰分(无机物)的相对密度, 污泥干固体相对密度可用如下公式表示。

$$\gamma_s = \frac{100\gamma_f\gamma_v}{100\gamma_v + P_v(\gamma_f - \gamma_v)} \quad (1-3)$$

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

$$V = \frac{W}{\rho_w} + \frac{S}{\rho_s} \quad (1-4)$$

式中 V ——污泥体积, cm^3 ;

S ——污泥中总固体重量, g ;

W ——污泥中水分重量, g ;

ρ_w ——污泥中水的密度, g/cm^3 (数值与相对密度相同);

ρ_s ——污泥中干固体密度, g/cm^3 (数值与相对密度相同)。

4. 污泥的脱水性能与污泥比阻

污泥中所含水分, 按它的存在形式, 可分为间隙水、毛细结合水、表面吸附(粘附)水、内部水等四类。所谓间隙水是指被大小污泥颗粒包围的水分, 约占污泥中水分的 70%, 由于间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; 毛细结合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; 表面粘附水是粘附在污泥小颗粒表面上的水分, 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,此类水分分离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,大约占污泥水分的3%左右,去除内部水必须破坏细胞膜,故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。

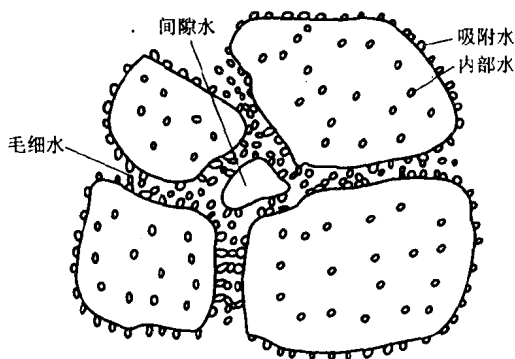


图 1-1 污泥中的水分存在形式

污泥的含水率一般都很高,为了使污泥便于输送、处理和处置,必须对污泥进行脱水处理。但不同性质污泥的脱水性能差别很大,脱水的难易程度也不同。污泥比阻(r)常用来衡量污泥的脱水性能,它反映了水分通过污泥颗粒所形成的泥饼时所受阻力的大小。其物理意义是:单位重量的污泥在一定压力下过滤时,单位过滤面积上的阻力即单位过滤面积上滤饼单位干重所具有的阻力,单位为 m/kg 。

$$r = \frac{2PA^2b}{\mu\omega} \quad (1-1)$$