10.3969/j.issn.1008-813X.2010.04.016

城市污泥干燥焚烧一体化处理工艺的研究

张宗宇[1,2]，李 捷[1]，赵洪明[1]，邢召良[2]，王 凯[2]

（1. 山东省科学院工业节能研究中心，山东 济南 250013）
（2. 山东天力干燥设备有限公司，山东 济南 250013）

摘　要：城市污泥的产量日益增加，若不进行处理，不仅浪费土地资源而且污染环境。对污泥中的水分形式和污泥的处理工艺进行了分析，认为污泥的干燥和焚烧是最完全、稳定的处理工艺。提出一种城市污泥干燥焚烧一体化处理工艺，利用污泥自身焚烧产生的热值，提供干燥系统所需的热量，达到整个污泥处理系统能量的基本自给。对该系统的流程和各工艺进行了分析，结果表明该系统的污泥减量大、干燥效率高、运行成本低、尾气排放有效控制。

关键词：污泥；干燥；焚烧；处理工艺

中图分类号：X705　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-813(2010)04-0058-04

Research on the Treatment Technology of Drying-Incinerating Integrated Systems for Sewage Sludge

Zhang Zongyu[1,2], Li Jie[1], Zhao Hongming[1], Xing Zhaoliang[2], Wang Kai[2]

(1. *Industrial Energy Conservation Research Center of Shandong Academy of Sciences*, *Jinan Shandong* 250103;
2. *Shandong Tianli Drying Equipment Co. Ltd.*, *Jinan Shandong* 250103)

Abstract: The output of sewage sludge increases day by day. It will not only waste the land resource but also pollute the environment if it does not be treated. The water form and treatment technology of sludge were analyzed, and drying and incinerating were deemed to the most complete and steady treatment technology. A treatment technology of drying—incinerating integrated systems for sewage sludge was proposed which the heat amount from sludge incineration provides the requirement of the incinerating system and the whole drying—incinerating integrated systems can be self—support basically. The processes and technologies of the systems were analyzed, and the results showed that the advantages of the systems were the large decrement of sludge, high drying efficiency, low running cost and effective control of the exhaust emissions.

Key words: sludge; dry; incinerate; treatment technology

收稿日期：2010-06-11

作者简介：张宗宇（1969— ），男，山东淄博人，毕业于山东工业大学电厂热能内动力专业，副研究员，主要从事污泥的处理处置方面的研究。

随着城市化的迅速发展和环境质量标准的日益提高，污水处理率和污水处理程度也日益深化。截止到 2009 年 10 月，已建成的污水处理厂数量达到 1 817 座之多。我国 2010 年的目标是新建城市污水处理厂 1 000 余座，届时将有近 3 000 座污水处理厂达到运营状态。污泥是污水处理的伴生产物，含有重金属、病原菌等有害物质，体积大且不稳定，如果不进行处理，会造成大范围二次污染。

发达国家对污泥的处理和处置进行了大量的研究[1～2]，并在 20 世纪 60 年代就已经达到先进的成套化水平。近年来，国内一些学者也对污泥的处理进行了一些研究[3～4]，但总体来说比较落后，很多污泥处理技术和设备都需要引进。污泥处理处置的方法主要有卫生填埋、农用、焚烧、干燥和热处理、污泥堆肥和海洋倾倒等。污泥干燥能使污泥显著减容，产品稳定。焚烧是最彻底的污泥处理方法，能使有机物全部碳化并杀死病原体，并最大限度地减少污泥体积。相关学者针对污泥的干燥、焚烧进行了研究[5～6]，但通常将污泥干燥和污泥焚烧分为两个独立的过程。一些学者针对城市污泥干燥焚烧一体化处理工艺进行了研究[7～10]。侯凤云[7]采用循环流化床锅炉焚烧干污泥，并在流化床干燥器中与热灰混合加热进行干燥，干燥后的污泥返回锅炉炉膛燃烧。上海石洞口城市污水处理厂污泥干燥焚烧系统[10]采用鼓泡流化床锅炉焚烧干污泥，采用流化床低温干燥系统干燥湿污泥，流化床干燥系统布置导热油盘管，空气从床底经过判断加热到 85 ℃后进入床身，使污泥流化并充分换热，最终将污泥干燥。本文提出将干污泥焚烧产生的烟气直接干燥湿污泥的干燥焚烧一体化处理工艺，并对该工艺进行分析和研究。

1　污泥的水分

对污水进行处理会产生沉淀物、颗粒物和悬浮物等，统称为污泥。污泥是一种介于液体和固体之间的浓稠物。

污泥中的固体物主要为胶质，与水有较强的亲和力，因而含水率较高，通常为 96%～99%。污泥经过浓缩之后含水率仍会高达 85%以上。

污泥中所含水分形态有四种，分别为表面吸附水、间隙水、毛细结合水和内部结合水，毛细结合水又可分为裂缝水、空隙水和楔形水，它们分别反映了水分和污泥固体颗粒的结合情况。图 1 为这几种水分形态的示意图[11]。

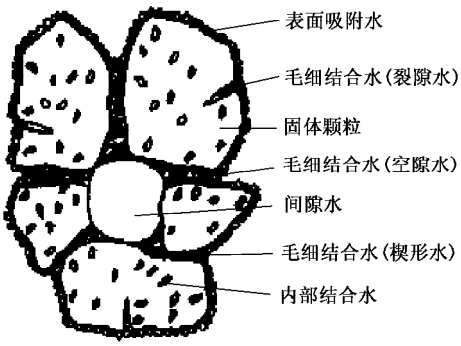

图 1　污泥中水分的存在形态

2　污泥的处理原则和处理工艺

污泥的处理和处置应当遵循减量化、稳定化和无害化的原则，具体如下[11]：

减量化：污泥的含水率高，体积大，不利于贮存、运输和消纳，因而减量化十分重要。减小污泥的体积，能降低污泥处理和最终处置费用。

稳定化：污泥中有机物含量 60%～70%，会发生厌氧降解，极易腐败并产生恶臭，因此需要采用生活好氧或厌氧消化使污泥中的有机组分转化成稳定的最终产物。

无害化：污泥中含有大量病原菌、寄生虫卵和病毒，容易造成传染病大面积传播，因而需要将这些病菌杀灭。

为了达到以上这些目的，可以采取不同的装置，或将多种装置进行组合，构成各种污泥处理的工艺。污泥处理处置工艺的选择如图 2 所示[12]。

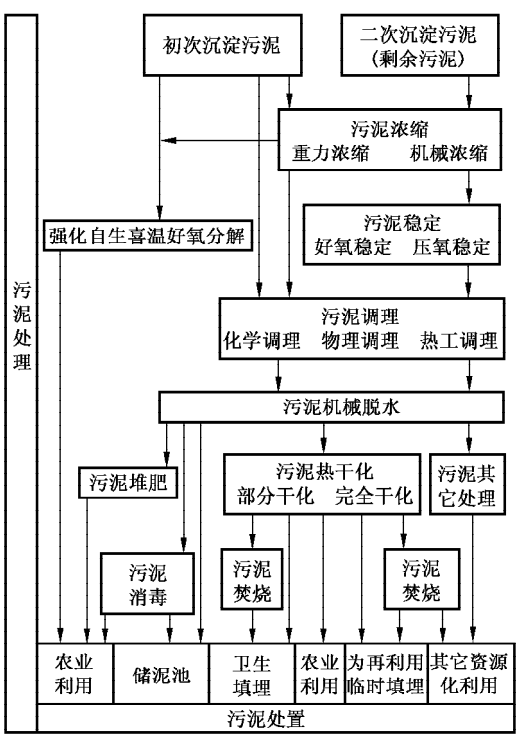

图 2　污泥处理处置工艺的选择

虽然污泥处理处置有很多工艺，但实际上污泥的干燥和焚烧是最完全、稳定的处理手段。本文对一种污泥干燥焚烧一体化的处理工艺进行分析和研究，以将其应用于城市污泥的处理。

3 污泥干燥焚烧一体化处理工艺流程

经传统的浓缩和脱水工艺处理之后的污泥的含水率不可能达到60%以下[13]。由于含水率较高，直接焚烧会导致焚烧不稳定，大量水蒸气的产生不仅会腐蚀壁面，而且会损失部分潜热。因此，在污泥焚烧之前进行干燥处理是十分必要的。

3.1 系统整体工艺流程

将城市污水处理厂产生的污泥先干燥后焚烧，并将污泥焚烧后产生的高温烟气返回到污泥干燥系统，对污泥进行干燥。充分利用污泥自身的热值，提供干燥系统所需的热量，达到整个污泥处理系统能量的基本自给，实现污泥干燥焚烧一体化，实现污泥的减量化和无害化，并降低污泥处理和运行的成本，解决目前普遍存在的污泥堆存和污染问题。污泥干燥焚烧一体化处理工艺流程图如图3所示，系统主要由循环流化床焚烧炉、旋风除尘器、回转圆筒干燥机、活性炭裂解炉、换热器、尾气处理装置等组成。

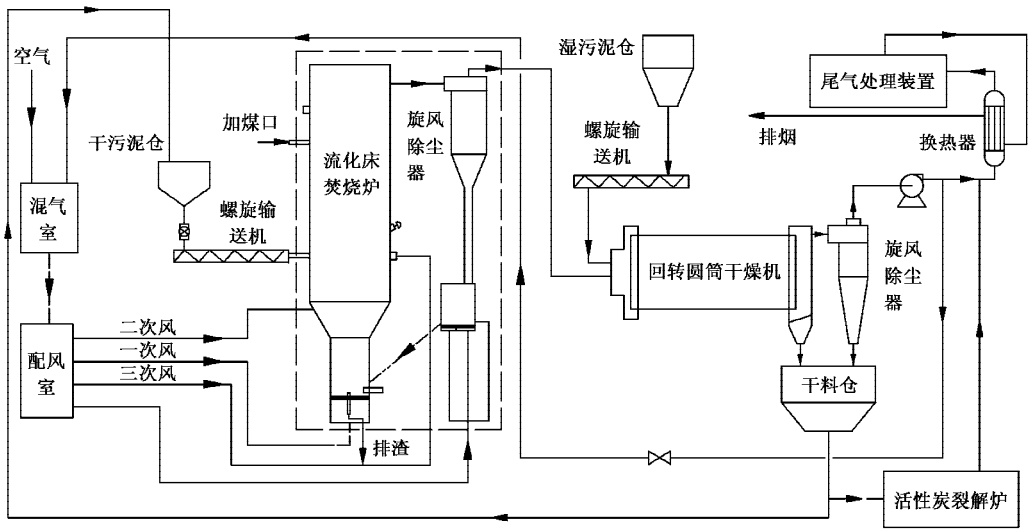

图3 污泥干燥焚烧一体化处理工艺流程

3.2 污泥工艺流程

湿污泥仓中的湿污泥，通过螺旋输送机送入回转圆筒干燥机，在干燥机中与热烟气直接接触被加热干燥，干燥后的干污泥进入干料仓中，一部分被送入干污泥仓中，另一部分则进入活性炭分解炉中生产活性炭。干污泥仓中的干污泥，通过卸料阀卸料后进入螺旋输送机入口，并由螺旋输送机送入流化床焚烧炉中进行流化燃烧，燃烧后的灰渣通过流化床底部的排渣口排出。被烟气带走的部分未燃污泥，在旋风除尘器中被分离，进入返料器，最终返回锅炉炉膛中进行完全燃烧。

3.3 烟气工艺流程

干污泥在流化床焚烧炉中流化，与空气充分接触燃烧，产生850～950 ℃的高温烟气，经过旋风除尘器分离粉尘后进入回转圆筒干燥机，与污泥充分直接接触以干燥湿污泥。换热后的烟气由旋风除尘器分离粉尘，之后一部分烟气与空气在混气室中混合，并在配风室中分成一次风、二次风、三次风等分别进入流化床焚烧炉的炉膛。另一部分烟气先经换热器换热降低温度，之后进入尾气处理装置对尾气进行处理，然后进入换热器中换热升温，避免尾气达到露点温度造成设备腐蚀，最后通过烟囱排放到大气中。

4 污泥干燥焚烧一体化处理工艺分析

4.1 污泥干燥

干燥是污泥深度脱水的一种形式，一般通过热能将污泥中的水分汽化。城市污泥属于高湿、高粘性有机废物，分散性差，不利于干燥过程中的热质交换，干燥难度高。本文采用的直接换热回转圆筒干燥机，能够进行高湿、高粘性物料的干燥。回转圆筒干燥机的主体是略带倾斜并能回转的圆筒体。湿污泥随圆筒的转动而运动，并在重力作用下从较高一段向较低一段移动。筒内布置有抄板，它不断把湿污泥抄起、洒下，使污泥与烟气的接触面积增大。

（下转第65页）

测，1999，12(1)：38-39.
[9] 陈红盛，邹亮，白庆中. 我国医疗垃圾处理处置技术及其应用前景[J]. 中国环保产业(增刊)，2004，(2)：32.
[10] Hsien－Wenkuo，Shu－Lungshu. Characteristics of medical waste in Taiwan[J]. Water，Air and Soil Pollution，1999，114，(3/4)：413-421.
[11] 马俊伟，聂永丰，白庆中. 中国医疗废物处理现状及对策[J]. 中国城市环境卫生，2003，(4)：16-18.
[12] 张屹. 医疗废物处理现状及对策分析[J]. 中国现代医学杂志，2003，13(5)：154.
[13] 赵县防，王喜红. 几种医疗废物处理工艺的比较及尾气净化方法的选择[J]. 中国资源综合利用. 2004，23(9)：14-15.

(上接第 60 页)

常见的间接干燥技术需要配备蒸汽锅炉或导热油发生系统，热效率低。本文所述的干燥焚烧一体化处理工艺，采用焚烧炉产生的高温烟气进入干燥机中对湿污泥进行直接换热，传热效率高，使污泥达到半干化或全干化。

4.2　污泥焚烧

污泥焚烧系统主要包括炉膛、旋风除尘器、返料器等。炉膛横截面为圆形，设计运行温度为 850～950 ℃。炉膛底部的布风板上均匀布置风帽，一次风通过布风板进入炉膛，对炉膛内的污泥起流化作用。干污泥在炉膛内燃烧，产生的高温烟气进入干燥机中对湿污泥进行直接干燥。

以含水率 75%的 100 t 脱水污泥为例，经干燥后可获得含水率 10%的干污泥 27.778 t，可提供热量 354 169 MJ(含水率 10%的干污泥热值测试值为 12.54～12.96 MJ/kg，按平均值 12.75 MJ/kg 计算)；干燥过程需脱水 72.222 t，所需热量 236 506.73 MJ；干污泥燃烧效率按 85%考虑，其焚烧的可用热值为 12.75×85%＝10.84 MJ/kg，则 100 t 脱水污泥干燥焚烧需含水率 10%的干污泥 21.818 t；整个体系富余含水率 10%的干污泥 5.960 t，折算富余热量 75 990 MJ。

通过计算可以看出，系统干燥能量可以自给自足，并还有富余。经过更深入计算可知，当污泥含水率 79%以下时，污泥干燥焚烧一体化系统处置可维持能量自给。如污泥含水率 79%以上，则可以添加其它燃料如煤来保持系统能量的平衡。

4.3　污染控制

干污泥焚烧的高温烟气在炉膛高温区停留时间高于 2 s，可有效控制二噁英的生成。在利用高温烟气直接干燥污泥时，通过急冷控制专有技术可有效实现二噁英的控制。回转圆筒干燥机中污泥干燥产生的尾气，含有少量的 H_2S、SO_2、CO、硫醇等，通过尾气处理系统进行处理，实现达标排放，可有效防止二次污染的产生。干污泥焚烧后产生的废渣，已达到高度减量化、稳定化和无害化，可用于新材料开发或建材使用。

5　结语

本文对污泥中的水分形态进行了分析，总结了污泥的处理原则和常见的污泥处理工艺，并指出污泥的干燥和焚烧是最完全的稳定手段。提出一种城市污泥干燥焚烧一体化处理工艺，将污泥先干燥后焚烧，并将干污泥焚烧后产生的高温烟气返回到污泥干燥系统，对湿污泥进行干燥。通过分析结果表明，该系统具有污泥减量大、干燥效率高、运行成本低、尾气排放有效控制、系统投资低等优点，可以开展中试试验并进行推广。

参考文献

[1] T. Ogada，J. Werther. Combustion characteristics of wet sludge in a fluidized bed－release and combustion of the volatiles[J]. Fuel，1996，75(5)：617-626.
[2] M. Sanger，J. Werther，T. Ogada. NO_x and N_2O emission characteristics from fluidized bed combustion of semi－dried municipal sewage sludge[J]. Fuel，2001，80(2)：167-177.
[3] 丘锦荣，卫泽斌，吴长安，等. 不同干燥处理对城市污泥物理性质和农业利用的影响[J]. 生态环境学报，2009，18(1)：106-110.
[4] 王兴润，金宜英，聂永丰. 国内外污泥热干燥工艺的应用进展及技术要点[J]. 中国给水排水，2007，23(8)：5-8.
[5] 傅凤霞. 污泥干化处理中重金属迁移特性的研究[D]. 杭州：浙江大学，2008.
[6] D. Shin，S. Jang，J. Hwang. Combustion characteristics of paper mill sludge in a lab－scale combustor with internally cycloned circulating fluidized bed[J]. Waste Management，2005，25：680-685.
[7] 侯凤云. 城市下水污泥流化床干化特性研究[D]. 北京：中国科学院工程热物理研究所. 2007.
[8] 马侠. 污泥干燥焚烧工艺的实验室研究[D]. 杭州：浙江大学，2006.
[9] 韩晓强. 干化污泥焚烧炉的试验研究与数值模拟[D]. 南京：东南大学，2006.
[10] 杨新海，张辰. 上海市石洞口城市污水处理厂污泥干化焚烧工程[J]. 给水排水，2003，29(9)：19-22.
[11] 赵庆祥. 污泥资源化技术[M]. 北京：化学工业出版社，2002.
[12] 徐强. 污泥处理处置技术及装置[M]. 北京：化学工业出版社，2003.
[13] 邵立明，何品晶. 城市污水厂污泥热干燥处理与利用的可行性分析[M]. 上海：上海科教文献出版社，2000.