

# 污泥中温炭化技术研究

邹献余, 汪流, 周胜军

(安徽省通源环境节能股份有限公司, 安徽 合肥 230009)

**摘要** 随着我国经济的快速发展和人民生活水平的日益提高, 生产生活中产生的污泥越来越多, 污泥的污染问题也是愈发急迫; 我国现在的污泥处理处置目标是: 无害化、减量化、稳定化、资源化; 在环保行业内把“无害化、减量化、稳定化”称为污泥处理, “资源化”才是真正的污泥处置。本文根据污泥中温炭化项目运行的实际情况, 针对污泥中温炭化技术研究展开讨论, 详细介绍了可行的工艺路线, 核心设备的工作性能。同时通过对污泥炭化产物的检测, 证实了污泥炭化产物资源化利用的可行性。

**关键词** 中温炭化; 环保; 资源化

中图分类号: X799

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)07-0106-03

目前, 我国大部分城市的污泥从污水厂外运后便进入无序的临时堆存或简单填埋状态, 不仅占用大量土地资源, 而且严重破坏生态环境, 特别是污泥长期堆放后产生的渗滤液侵入地下水系统, 造成局部地下水资源难以复原的永久性危害。

污泥处置技术应用较多的主要有厌氧消化、好氧堆肥、余热干化、机械深度脱水等。厌氧消化由于投资大、对管理要求高、运行不稳定等问题难以大范围使用; 好氧堆肥由于占地面积大, 且处理过程中的臭气大、处理的肥料不易被接受等问题导致堆肥技术难以应用; 余热干化由于对电厂的工艺要求高, 且只做干化会产生臭气难以处理导致该技术难以大范围使用。

纵观国内外污泥处置技术研究发展现状, 污泥炭化技术是在20世纪90年代出现, 1997年日本三菱在宇部的污泥炭化厂规模为20吨/天; 2000年开始, 污泥炭化技术在国外已经进入大规模的商业推广阶段。美国 Enertech Environmental 和 Thermo Energy 采用的是低温热分解技术, 澳大利亚 ESI 采用的中温热分解技术, 日本巴工业和美国 IES 均采用的高温热分解技术, 德国采用污泥热处置得到更广泛的应用。在中国, 污泥处理处置企业数量达到几千家, 如天津机电进出口有限公司、湖北搏实城乡环境能源工程有限公司、哈尔滨凝智科技有限公司等均推出了污泥干燥炭化设备。

## 1 技术研发内容

### 1.1 技术方案

技术研发采用机械浓缩+调理改性+高压压滤+干化+炭化的工艺, 使污泥或打捞上来的蓝藻絮凝沉淀后的藻泥进行深度脱水后, 再进行干化炭化, 达到了污泥和藻泥的无害化、减量化。伴随着项目技术在

污泥处理行业的广泛应用, 将能够有效提高污泥处理效率并降低现有成本, 经济效益和社会效益显著。污泥热解炭化是新兴的污泥处置技术, 通过间接缺氧加热使污泥中的有机质热解为小分子成分, 通过热解气燃烧, 利用污泥中的有机质。本项目技术研发为中温热解炭化设备, 合理且先进的工艺需要完整的机械设备来实现<sup>[1]</sup>。污泥中温炭化核心设备性能要求如下。

#### 1.1.1 供热设备应具备下列技术特征

1. 燃料燃烧后产生的热量以热烟气的形式供给污泥干化系统和炭化系统。

2. 设备选型应根据燃料性质的不同, 使用不同燃烧器和炉型, 产生的热烟气属高温热烟气。

3. 热解气引入管道设计在高温火焰区, 热解气进入炉膛内高温燃烧, 高温燃烧后通过二次配风保证燃料的充分燃烧。

4. 燃料燃烧过程中, 会产生氮氧化物等有害气体, 宜在燃烧炉高温区采用 SNCR 技术, 通过喷入药剂在炉膛内高温脱硝, 保证烟气中氮氧化物符合排放标准<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.2 供热设备设计应符合下列规定

1. 运行方式应为连续生产。

2. 配风应合理, 温度可调。

3. 供热设备炉内温度应控制在 600℃~1000℃。

4. 供热量应满足干化炭化系统用热要求。

#### 1.1.3 干化设备应具备下列技术特征

1. 利用燃料及污泥热解气燃烧产生的热烟气作为热源。

2. 换热方式宜采用直接换热方式。

3. 污泥含水率 55%~65%, 污泥粒径不大于 50mm, 硬质杂质不大于 10mm。

#### 1.1.4 干化设备设计应符合下列规定

1. 运行方式应为连续生产。
2. 生产能力应为 60%~120%，并可调。
3. 物料打散，受热均匀。
4. 换热温度要求 120℃~200℃。
5. 烘干物料含水率应为 20%~30%。

#### 1.1.5 炭化设备应具备下列技术特征

1. 炭化设备热源主要来自供热设备产生的热烟气。
2. 炭化为间接换热，炉内的污泥在缺氧的环境下热解炭化。

#### 1.1.6 炭化设备设计应符合下列规定

1. 运行方式应为连续生产。
2. 生产能力应为 60%~120%，并可调。
3. 换热条件：缺氧环境（含氧量不大于 0.5%），间接换热。
4. 换热温度应为 350℃~650℃。
5. 热解气可回收利用。
6. 设有安全防爆泄压装置。
7. 出料要求为配置冷却。
8. 污泥基生物炭含水率不应大于 5%。

#### 1.2 技术创新点

1. 研发炭化设备由一台干化炉和一台炭化炉组成。
2. 对干化炉炉体重新设计，改变干化炉内部结构，改变扬料板的形式，增加空气与物料的换热效率，提高干化效果。

3. 对炭化炉炉体优化设计，减少炉内积灰，提高保温性能。

4. 设计二燃室，提高使用寿命，减少从二燃室进入炭化炉的灰尘。设计燃烧机，提高使用寿命。

5. 通过炭化装置和旋风除尘器、除尘布袋、燃烧室的作用，使得污泥腔 A 内污泥炭化过程中产生热解气包括一定量的 CO、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等可燃性气体，将这些可燃性气体供给至燃烧室内，不仅减少了有害气体的排放，减轻了对加工环境的污染，而且废气回收利用，能够降低污泥炭化的成本<sup>[3]</sup>。

中温炭化技术，不仅减少了燃料的使用，使得一种污泥高干炭化处理系统可以应用于市政污泥、工业污泥等方面进行污泥处理，还可以相对现有的污泥处理技术，具有节约资源、减少污染、降低成本、提高企业的经济效益；因此，具有广泛的应用市场和很高的市场价值。

开发一套产量 50t/d（含水率 80% 计）的污泥炭化设备，设备年运行时间 ≥ 7200h，燃料消耗降低、废气排放达标。

1. 通过设计污泥处理系统，其对高温余热的高效利用，污泥不仅得到了安全处置，还进行了资源化利用。炭化设备使用非石化类的绿色能源——生物质作为额外能源，以达到以废制废的目的。污泥炭化时热风与物料不直接接触，尾气量小，且处理工艺简单，对比污泥焚烧有成本的优势。

2. 通过污泥干化炭化装置的研制，无锅炉等特种设备，审批手续简单，安全性高。在无需外部能源利用余热的同时为干化和炭化提供能量；通过热解气化焦油并将其导入燃烧室燃烧，即高温净化彻底解决了其污染的问题，同时又为系统补充了热值。

3. 通过采用对污泥实施造粒处理，使得混合搅拌后的污泥呈现预设的颗粒形态，有效地提高了干化炭化过程中的热交换面，进一步提高了干化炭化效率。炭化物的资源化利用方向广泛，非其他污泥处置技术可相比的。

## 2 生产工艺及主要设备

污泥中温炭化技术包含污泥干化、炭化两段工艺。干化是将含水率 55%~65% 的脱水污泥烘干至含水率 20%~30%。炭化是将干化后的污泥在缺氧环境下热解，使污泥中的有机物转变成热解气，污泥中无机物和残炭转变成稳定的污泥基生物炭。本工艺系统经过若干套装置的成功运行，已经对我们国家在污泥处置方面提供了有益的样板，具有示范效应<sup>[4]</sup>。其主要设备如下。

### 2.1 供热系统

干化炉和炭化炉的热源均采用生物质燃料燃烧产生。炭化炉热源来自生物质燃料燃烧炉，燃烧产生的高温气体进入二燃室。在二燃室内与来自于炭化炉的热解气体一起燃烧，形成足量的高温烟气经旋风除尘器除尘后进入炭化炉夹套用于炭化炉炭化。经炭化炉夹套后的高温烟气通过高温风机输送到干化炉内用于干化高含水率的污泥。干化炉也配备有专门设计的辅助生物质燃料生物质燃烧炉进行充分燃烧，以确保进入干化炉的烟气的温度，保证干化炉的干化效果。干化炉系统中生物质燃料燃烧后的热烟气与来自炭化炉夹套的高温烟气都进入干化炉内对含水污泥进行烘干。出干化炉的废气经过旋风除尘和喷淋设备除雾设备后由尾排风机通过烟囱排入大气。

### 2.2 干化炉、炭化炉系统

干化炉、炭化炉是整套工艺的核心，含水率 60% 的污泥首先进入干化炉，与高温烟气直接接触。高温烟气将污泥加热后，污泥中的部分游离水吸热汽化，被烟气带走，同时使污泥含水率降到 30% 左右。污泥

在出干化炉之后通过螺旋输送进入料仓,然后进炭化炉。在炭化炉中,通过内筒壁与高温烟气换热焙烧,进一步脱出结晶水和轻组分气体,产出合格的污泥颗粒,基本脱除游离水,完成整个碳化工序。

### 2.3 尾气处理系统

市政污泥热解炭化干化污泥热解过程中产生的热解气送入热解炭化供热系统进行高温处理及热能回收,产生的高温烟气作为热解设备的热源,该过程在确保热解烟气得到净化的同时实现热能的回收利用。经高温处理、换热降温后的烟气仍具有较高的温度,继续送入干化系统和干化供热系统烟气共同作为干化过程的内热源,最终形成的干化烟气经过干化烟气除尘器、喷淋洗涤系统后通过总烟气排气风机达标排放。

### 3 设备工作原理

干化、炭化设备系统包括热解炭化系统设备和其它配套设备。按照功能划分,热解炭化系统中,干化炉炉体及炭化炉炉体为主体设备,热能供应系统(生物质燃烧器、炭化燃烧室及干化辅助燃烧室)、尾气处理装置(喷淋系统、旋风除尘系统)、引风系统(总烟气排放风机及炭化内部高温风机)、干化进料系统(破碎输送机、干化原料刮板机、干化进料螺旋)、中转刮板机、炭化进料螺旋、炭化出料系统(炭化冷却输出螺旋、关风机、炭化出料提升螺旋)等均为辅助设备。其它如酸碱中和装置、脱销装置、氧含量监控装置为配套设备。

干化回转窑设备是一个有一定斜度的圆筒状物,斜度为1度,借助窑的转动来促进污泥在窑内借助扬料板充分搅拌,窑头由风机从热源(炭化炉体)引入大量热气流,此热气流流向与污泥走向一致,使料与热气流接触,蒸发水分。当窑产能负荷较大,炭化炉的热源无法满足生产要求时,可以由二燃室给干化回转窑补给热能。窑体主要部件包括传动结构、托轮、挡轮、密封结构,筒体及扬料板。减速机、链轮、链条组成传动系统,托轮承受窑体重量,挡轮控制窑体上下窜动,鱼鳞片密封装置起到密封窑体,阻止空气进入窑体和物料溢出的作用,扬料板在工作中可以将物料打散,使物料与热气流充分接触,加快水分蒸发。

炭化回转窑设备也是一个有一定斜度的圆筒状物,斜度为1度。通过风机将炭化炉抽成负压、干化回转窑的物料进入炭化回转窑储料仓后,由输送绞龙将物料输送至窑内,借助窑的转动来促进料在回转窑内搅拌。窑尾引入的二燃室高温气流与物料前进方向相反,充分蒸发物料水分,同时,由于物料处于高温无氧状

态,会裂解出可燃气体,且发生炭化。窑体主要部件包括传动结构、托轮、挡轮、密封结构,筒体及扬料板。减速机、链轮、链条组成传动系统,托轮承受窑体重量,挡轮控制窑体上下窜动,鱼鳞片密封装置起到密封窑体,阻止空气进入窑体和物料溢出的作用,扬料板在工作中可以将物料打散,使物料与热气流充分接触,加快水分蒸发及炭化裂解<sup>[5]</sup>。

本文的污泥中温炭化设备,处理的是经过高干脱水后的污泥(含水率60%以下),然后再通过热干化处理,干化过程是利用炭化烟气余热作为热源与泥饼直接热交换,泥饼含水率降低20%~30%,然后通过输送设备进入污泥炭化系统;炭化是污泥在无氧条件下,温度在400℃~600℃区间发生热解炭化,物料中有机挥发物热解转变成热解气,物料中的无机物和残炭最终保留下来转变成污泥炭的过程,经过炭化处理形成的污泥炭冷却包装储存,然后外运作为园林绿化用肥或土壤改良剂使用。中温炭化技术每条污泥处理生产线用地3000平方米,2500万元(50吨/天),其运行成本为278.42元/吨(含水率以80%,污泥含水率从99%开始处置,使用生物质颗粒燃料作为辅助能源)。污泥炭化产物的有机质含量为252.37g/kg,总养分[总氮(以N计)+总磷(以P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>计)+总钾(以K<sub>2</sub>O计)]含量为131.61g/kg,符合《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-2018)、《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》(GB/T24600-2009)和《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(GB/T23486-2009)的要求。与欧美、日本的设备相比在成熟度上还有一定差距。同时由于炭化工艺、结构复杂,需要专业素质高的运维人员才能保证设备全年300天以上的运行。在这两点上国内的设备还需改进。污泥中温炭化技术具有不产生二噁英、固化重金属、高能量利用率和低能量损失等特点,是当之无愧的节能环保技术。

### 参考文献:

- [1] 吴云生,汪国梁,银正一,等.市政污泥热解炭化工程应用及运行分析[J].给水排水,2022,58(06):43-48.
- [2] 唐占甫.采用市政污泥制污泥炭的技术论述[J].砖瓦,2021(09):31-34.
- [3] 林玉鹏,吴春雷,陈立春,等.市政污泥热解炭化设备的研制[J].环境科学导刊,2019,38(01):73-78.
- [4] 毛彦霞,张占梅.市政污泥炭化处理技术研究进展[J].环境科学与管理,2013,38(10):132-135.
- [5] 郭晓芳,宋凤鸣,杨洪棕,等.城镇污水处理厂污泥中高温炭化技术发展和应用现状[J].广东化工,2020,47(21):101-102.