

用深井曝气实现污泥自热完成高温好氧消化的技术简介

冯生华, 沈文钢

(深圳市中兴环境工程技术有限公司, 深圳 518004)

摘要: 介绍用深井反应器处理污泥, 使污泥中有机物降解发热, 并进行污泥高温好氧消化, 出泥经高温灭菌达到美国 EPA 要求的 A 级生物固体标准。即污泥对人体接触可确保安全, 可用于家庭花园、草坪作肥料。此技术耗电与常规工艺相比节省 50%。

关键词: 污泥 高温 好氧消化

随着城市污水处理厂的正常运行, 其污泥处理和处置问题日益突出, 污泥的消化处理是降低污泥中的有机物含量、防止污泥腐化发臭和污泥稳定的有效方法, 因此一般宜设置污泥消化设施。而对于中小型污水处理厂而言, 采用污泥好氧消化有工艺简单、运行安全的优点, 尤其采用加拿大 Vertad 工艺可节省 50% 的能耗, 是值得探讨的一条污泥处理的途径。加拿大 NORAM 公司在美国西雅图 KING 县的示范工程将该县污水处理厂的污泥经好氧消化后达到美国 EPA 的 A 级生物固体的标准。这里有必要进一步解释 EPA 第 503 部分的生物固体标准。EPA 是美国环境保护局, 第 503 部分的生物固体标准主要是用于规范和管理污水处理厂的污泥和固体物质的处理和处置。这些标准主要定义了一些处理规范, 以保证污水厂的污泥能安全地用各种方法处理和土地利用, 包括作为农肥等。EPA 第 503 部分指出 A 级生物固体对人类接触和处理是安全的。并且可以用于农业、森林、公共场所(如运动场、公园等等)、草坪和家庭花园作为肥料。污水厂的污泥可以通过特定的时间和温度的热处理来转化为 A 级生物固体, 应能通过以下测试, 即每 g 干的总固体中大肠杆菌的数量小于 1000MPN, 或者每 4g 干的总固体中沙门氏菌的数量小于 3MPN。而 Vertad 工艺证明, 其运行结果达到了 EPA 的热处理的时间和温度要求。在 Vertad 的产物中沙门氏菌(测试底限为 1.6MPN/4g)和大肠杆菌(测试底限为 5 MPN/g)都没有测出。因此 Vertad 系统超过了 A 级生物固体的要求, 其污泥能无限制地用于美国土地。另外, EPA 第 503 部分规定了用于土地的生物固体对带菌物的吸引指数(VAR)要降低。带菌物是指苍蝇、蚊、跳蚤、老鼠和鸟类等易被污泥吸引的生物。EPA 要求污泥的挥发性固体(VS)要至少减少 38% 以达到一个可以接受的 VAR。Vertad 系统对挥发性固体至少可以减少 40%, 因此超过了 EPA 的 VAR 的要求。因此, 通过 Vertad 系统处理的污水污泥不需要进一步处理、消化、堆肥就可以无限制地直接作为肥料用于美国的土地。

EPA 将厌氧中温消化的产物定为 B 级, 该级污泥只达初步稳定, 但没有“无害化”。B 级污泥如用于土壤, 应附加管理措施。

Vertad 反应器的产物含有 8%~12% 的固体物质和 88%~92% 的水。这些产物可以进一步通过离心机脱水得到含水率小于 70% 的产物。在脱水过程中每吨干固体需要加入 7kg 混凝剂。除了以上提到的混凝剂费用以外, 另一主要运行费用是电耗。去除每 kgVS 固体需耗电 1.27kW·h, 相当于处理每 t 总固体(干基、不包括水)耗电 360 kW·h。

1 Vertad (简称 VD)

此工艺是一种先进的自热型高温好氧污泥消化技术, 初沉污泥及剩余活性污泥经 VD 工艺处理后, 如前所述可转化成美国国家环保局(ERA)CFR-503 条规定的 A 级生物固体, A 级生物固体可直

接用作土壤肥料,彻底解决污泥的最终处置问题。该工艺的核心是深埋于地下的井式高压反应器(如图1所示)。该反应器一般是110m深,井的直径通常是0.5~3m,所占面积仅为传统污泥消化技术的一个零头。井式反应器的上部是氧化区。氧化区的下面是混合区。混合区的下面是深度氧化区,深度氧化区温度高、停留时间长,可以杀灭污泥中的病原微生物。具体工艺流程如下:(见图2)

(1) 将污泥送入混合区。污泥在此和已部分消化的循环污泥混合;

(2) 将压缩空气连续不断地引入混合区下部,为微生物的污泥消化提供氧气。由于反应器内液压高,使氧的浓度及氧的传递速率相应提高;

(3) 小气泡沿井外环上升,进入顶部气液分离罐,并在此实现气液分离;

(4) 部分污泥进入反应器底部的深度反应区。此处温度高、停留时间长,能满足获得A级生物固体所需的反应温度与时间要求;

(5) 底部经消化后的A级生物固体快速上升,进入产物罐。由于上升速度快,其中的砂砾不会沉积于反应器底部;

(6) 在消化污泥向产物罐上升的过程中,由于压力迅速降低,气浮作用促使固液物质实现分离,并获得含固率约10%的A级生物固体。

在图1中,可以见到压缩空气从10处进入内套筒12和井壁14之间的环形空间,由于空气提升原理,引起混合液向上流并沿着环形空间16实现循环,经过脱气的18区,再进入下向流的区域20,此处设计不同于其他垂直循环流程,在16上流区不必考虑菌群的悬浮而规定临界流速,在下向流通道20中也不需带入空气,液体在反应器中可以在一个很宽的速度范围内进行循环。例如,高负荷的VERTAD反应器其上升流速和下降速度可在0.3~1.5m/s内变化,上升流速是根据生化反应的氧气利用率确定,例如,在上升区16中当流速为0.3~1.5m/s时,空气中的氧气应在40~200秒内被充分消耗,A区的下向流区20的出水小部分进入B区,而大部分把A区的进水进行稀释循环,这样氧气的吸收率同空气提升中的可利用氧气相匹配,这里下向流管中生化反应的处理能力不作考虑,所以最理想的是其转移时间尽可能短(也就是速度尽可能高)来减少循环管的尺寸和增大上升流循环截面16的容积(降低速度),绝大部分生化反应是在上升区16中完成的。

当在上升区的流速稳定后,空气通过风管24进入主曝气头22,空气不再从启动时的10进入,改为从10号向反应器A区内进原污泥,同时通过风管28向曝气头26开始鼓风,主曝气头22在循环管12下部8~16m处,该装置为非推流型锥形散流装置,主曝气头22的设计起到气流隔断作用,充分限制循环筒12中下向流对C区的冲击,为了保证A区的出水进入C区,液体必须经过22曝气头向上的气流,这种干扰有效地减慢液流,所以进入C区的流速很低,以ft/min或ft/h为单位,而A区的下向流速度通常是以ft/s为单位,所以在循环筒中下向流液体的速度相当高,一般为2~4m/s,使曝气头22的气泡不能进入A区循环筒12,因为进入C区的液流速度很慢,气泡就不会被带入C区,而在A区和C区的中间地带循环,直至迂回进入上向流的环形空间16。另外有曝气

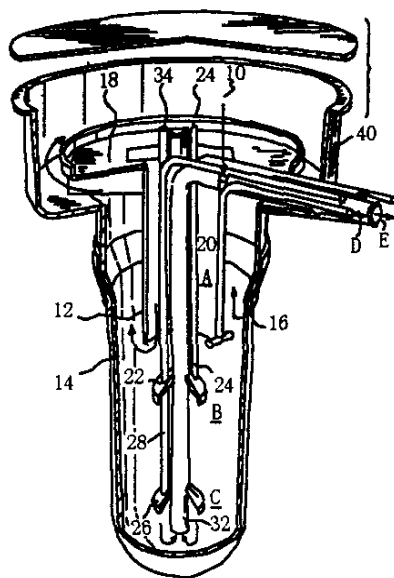


图1 井式高压反应器

A—氧化区; B—混合区; C—深度氧化区; D—顶部; 10—压缩空气; 12—内套筒; 14—外井壁; 16—环形空间; 18—脱气平台; 20—循环下向流通道; 22—主曝气头; 26—下曝气头; 32—抽(出)泥管 40—顶罐

头 26 产生的气体也向上进入空间 16。

C 区是严格的推流模式, 仅仅由于处于 C 区上部 3/4 处的深曝气头 26 产生的气泡有一定混合作用, 此处有一个带有气门通风筒 30 被延伸到 C 区把深曝气头 26 包围起来, 这个装置将 C 区转化为一个带有内部循环的推流区, 同时 C 区由于具有较低的 F/M, 容易产生泡沫, 而 A 区的 F/M 较高, 所以不易产生泡沫, C 区产生的泡沫随气流进入 A 区, 在 A 区由于具有较高的 F/M 将泡沫降解。

抽泥管 32 将处理后的污泥从 C 区的底部抽到表面进行浓缩或处理, 对抽泥管的重要设计是具有足够的上升速度 (一般应大于 0.8m/s) 以从反应器底部将有可能沉淀的污泥抽出。

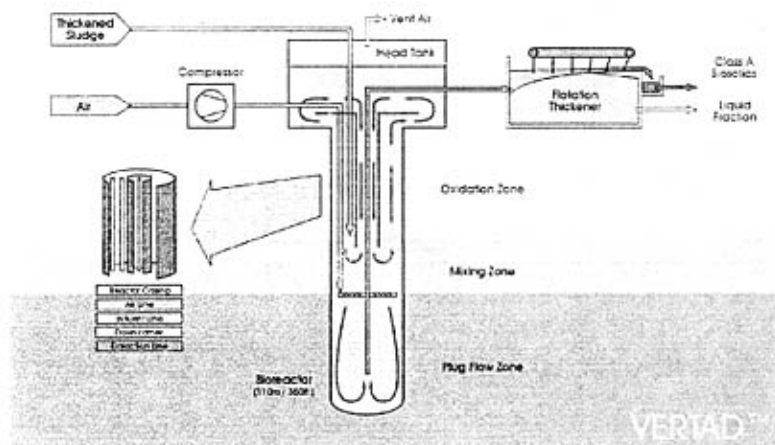


图 2 工艺流程

2 VD 污泥处理技术与传统的厌氧及好氧污泥处理工艺相比, 具有以下优点

- (1) 投资省。大多数情况下, 总投资比传统工艺低;
- (2) 占地少。本系统结构非常紧凑, 占地面积小;
- (3) 处理效果好。在处理过程中, 挥发性固体可以减少 40%~50%。经处理后的出厂污泥可达到美国 EPA 污泥 A 级标准。污泥经脱水后, 可以直接作土壤肥料, 彻底解决污泥的最终处置问题;
- (4) 用为传统高温好氧消化的一半以下;
- (5) 对经消化后的污泥, 只需投加少量的有机絮凝剂进行污泥脱水, 就可使污泥的含水率降至 65%~70%;
- (6) 环境影响小。采用 VD 污泥处理工艺, 异味气体和挥发性有机物的排放量很低;
- (7) 在气候非常恶劣的地方, 或者对环境有特殊需要的情况下, 便于将该系统置于封闭的建筑之内;
- (8) 维修、管理方便。并可以通过自动控制, 实现无人值守;
- (9) 使用价钱不高的热交换器, 即可实现过程的热量回收 (收回的热量可以用来采暖), 而不需像厌氧消化那样配置价格昂贵的气体净化装置和专用锅炉。

3 VD 工艺主要经济技术指标

- (1) 氧传递效率约 50%;

- (2) 经 VD 工艺处理后, 挥发性固体至少可以降低 40%;
- (3) 经离心机脱水可得到含水率小于 70% 的 A 级生物固体;
- (4) 除每 kg 挥发性固体耗电小于 $1.4 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 对城市污水而言, 相当于 t 水耗电 $0.06 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

4 VD 工艺与其它污泥消化工艺的差别

自热型高温好氧消化 (Autothermal thermophilic aerobic digestion), 简称为 ATAD, 是一种废水污泥处理系统, 由经预浓缩的污泥被消化、稳定和为控制病菌而进行高温杀菌, ATAD 自从 1960 年就开始被研究和发展, 目前在欧洲几个国家和加拿大已成功运用了。ATAD 系统通常是由 2~3 个好氧流程组成, 在高温温度状况下 ($45^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$) 运行而无需补充热能。

在传统的 ATAD 系统, 一般有 2~3 个反应罐组成一个系列, 被浓缩后的污泥被成批送入第一反应罐, 一般用推进器或文丘里型混合/曝气器进行曝气和混合。由于进来的原污泥温度为 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$, 进水中的微生物是初级的低温生物和较低的中温生物, 在曝气最初开始阶段, 这些中温生物消耗污泥中的有机物质 (称为有机物) 并产生足够的能量让温度升高。结果高温生物开始占主导, 并进一步氧化生物和提高液体的温度到 $50 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 。对污泥进行高温杀菌。

表 1 概括了 VERTAD、ATAD、TPAD (temperature-phased anaerobic digestion) 及中温厌氧消化系统的主要差别:

表 1 VERTAD 工艺同传统消化工艺的比较表

工艺	产物等级	挥发性固体去除率	氧转移率	废气	土地使用	泥饼	投资	运行费用
VERTAD™	A 级 (不限制使用)	>40% (HRT: 4d)	>50%	封闭池体, 废气控制 (有 NH_3)	低	> 30%	低	低
ATAD	A 级 (不限制使用)	43% (HRT: 16d)	20%~30%	封闭池体, 废气控制 (有 NH_3)	中	25%	中	中
TPAD	A 级 (不限制使用)	65% (HRT: 21~25d)			高	> 20%	高	高
中温厌氧消化	B 级 (限制使用)	55% (HRT: 25~30d)			高	> 23%	中	低

需要注意的一点是在 VERTAD 系统后再接厌氧消化步骤这个工艺已被证明是有效的, 这种结合可认为是一种补充, 有 VERTAD 系统降解脂肪和蛋白质, 而厌氧消化系统降解纤维素, 这种技术的合作可以提高挥发性固体的去除率到 70%, 所以可以使用 VERTAD 工艺作为对厌氧消化负荷过高的系统的改进或用来保证产生 A 级生物固体。