

污泥热水解+厌氧消化技术将占据污泥处理工程“C”位？

近年来，随着我国污泥问题的凸显和国家对环境保护的日渐重视，城镇污泥的减量化、稳定化、无害化处理处置被提上了日程，一批污泥处理处置设施得到了建设。在污泥处理处置的各技术中，厌氧消化由于能在实现污泥常规处理处置的同时，实现资源化(产甲烷)，被列入我国政府主推的几种污泥处理处置主导技术。

在我国污泥厌氧消化设施的实际运行中，污泥处理处置设施运行效率受制于低有机质、高含砂量等泥质特性的影响，整体运行和产甲烷效率明显低于欧美发达国家同等规模的厌氧消化设施。

为保证污泥厌氧消化系统的高效运行，实现污泥的稳定化和无害化，合理的预处理技术势在必行。污泥热水解技术作为污泥厌氧消化主要的预处理技术之一，能够实现污泥的破壁、有机物的溶出和病原体的杀灭，在实际工程中得到了广泛应用。

本文在综述污泥厌氧消化和高温热水解技术特征的基础上，对当前工业中主流的装备进行了分析，并结合实际案例对装备运行效能进行了分析，以期在实际污泥厌氧消化设施的运行提供技术支撑。

1 技术原理及特点

1.1 污泥热水解技术

污泥热水解技术的工作原理是将脱水污泥(一般含水率在85%~90%左右)和温度为150~260℃、压力为1.4~2.6MPa的饱和蒸汽加入密闭的反应釜，通过蒸汽对污泥进行间接加热，使污泥菌胶团、内部微生物和有机物水解破壁，从而使细胞失活，同时胞内部分有机物如蛋白质和多糖等，得以释放并进入上清液。

该技术起源于20世纪30年代，起初用于改善污泥脱水性能；70年代末开始用于污泥预处理，以提高污泥厌氧消化性能；90年代后被开发用于反硝化碳源的获取和活性污泥的减量研究；1995年Cambi公司在挪威哈马尔的HIAS污水处理厂首次建造热水解装置作为污泥处理工艺的一部分，在此基础上形成了污泥热水解——厌氧消化技术体系。

需要说明的是，热水解技术自身能够实现污泥的无害化、减量化、稳定化：热水解使污泥含固率提高、脱水性能增强，从而实现污泥处理的减量化；高温高压过程使病原菌灭活，实现污泥处理的无害化；热水解后有机物通过固液分离转移至滤液中，使得干污泥中可生化降解的有机物减少50%以上，从而达到稳定化。

污泥热水解过程包括固体物质溶解液化和有机物水解两个过程。污泥经热水解处理后，污泥上清液中的溶解性物质浓度大幅提高，尤其以污泥中蛋白质和糖类的溶出最为突出，能改善污泥的脱水性能和厌氧消化性能。

相较于传统的超声和臭氧氧化法，热水解技术对污泥有机物胞外聚合物的破壁能力更强，有利于后续的污泥生化处理，热水解后污泥通过固液分离装置分离为干化污泥和滤液。

1.2 污泥厌氧消化技术

污泥厌氧消化是指利用兼性菌和厌氧菌进行厌氧生化反应，分解污泥中有机质的一种处理工艺。厌氧消化一般包括水解、酸化和产甲烷等阶段。

通过厌氧消化，污泥体积减少为原来的30%~50%，脱水效果提高，水分与固体易于分离，稳定性增强，无明显的恶臭；同时厌氧消化过程能有效减少有毒病菌并产生大量的甲烷气体。

衡量污泥的厌氧消化性能和产气性能的2个指标：单位质量挥发性固体(VS)产气量和分解单位质量挥发性固体产气量，美国污水处理厂设计手册中这2项指标的最佳范围分别为0.5~0.75L/g和0.75~1.12L/g，国内无明确规定。

虽然污泥厌氧消化过程具有有效降解污泥有机物、杀死污泥中病原体、减小污泥体积及回收能源等优势，但厌氧消化系统在运行过程中存在着水力停留时间长(10~20d)和有机物去除率较低(20%~40%)等缺陷。

2 工艺配套装备

2.1污泥热水解装备

目前污泥热水解常用的装备为水热反应釜，水热反应釜大多为圆柱形罐体，内部设换热装置和机械搅拌装置等。

长沙市污泥处理处置工程采用污泥热水解-厌氧消化系统，其中热水解的关键设施为污泥浆化装备，主要包括1套污泥浆化罐、8套污泥热水解罐(图1(a))、1套混合及储泥罐和2套热交换器。

各装置规格如下：污泥浆化罐流量为20m³/h；污泥循环泵4台，流量为20m³/h(2用2备)；污泥热水解罐直径1.6m，高4m；热交换器2套，电机功率为5.0kW，混合及储泥罐电机功率为7.5+22kW。

各装备运行示意如图2所示，具体运行过程及参数如下。

(1)浆化装备——污泥从料仓柱塞泵提升至浆化装备，在浆化装备中利用闪蒸蒸汽加热浆化至70~80℃，然后泵送至热水解反应罐。

浆化装备运行时为连续进料、连续出料，反应罐产生的闪蒸蒸汽通过浆化装备内部分配管和阀门通至浆化装备的不同部位。在浆化装置内部，通过压力表、安全阀、安全水封等动态调整保证浆化装备内的压力安全。

(2)热水解反应罐——热水解反应罐中利用锅炉蒸汽加热至130~150℃，保压一段时间后泄压，泄压蒸汽进入闪蒸蒸汽罐后再进入浆化装备预热生泥，泄压后反应罐内的污泥通过出浆泵排至热交换器。热水解反应罐一个周期为90min，分为进泥(15min)、加热(15min)、保压(30min)、泄压(15min)、排泥(15min)5个过程，各反应罐可联动工作。



图1 罐体装置图：(a)污泥热水解罐；(b)厌氧消化罐

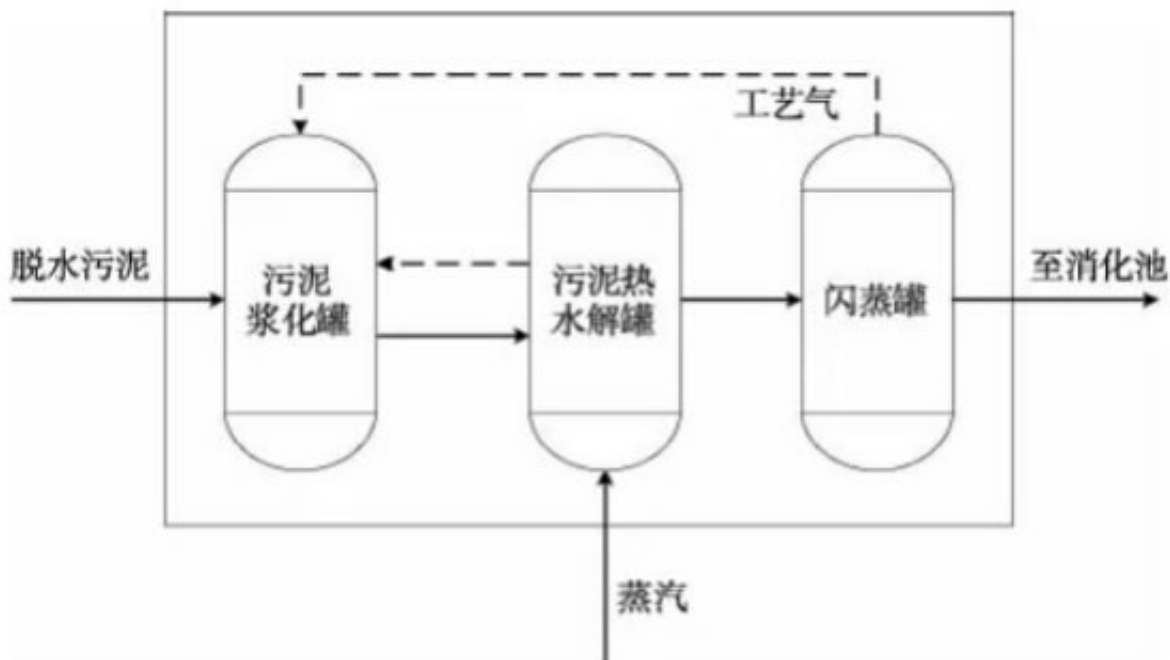


图2 污泥热水解浆化罐、热水解罐和闪蒸罐运行示意图

图2 污泥热水解浆化罐、热水解罐和闪蒸罐运行示意图

2.2污泥厌氧消化装备

污泥厌氧消化装备主要包括污泥厌氧消化池(罐)主体(图1(b))、进料系统、搅拌系统、沼气收集装备、沼气净化装备和沼气安全装备。各装备的主要特征如下。

(1)消化池(罐)——可分为常规混凝土建造设施和一体化装备。

常规的混凝土建造设施一般由池底、池体和池顶三部分组成，池底为倒圆锥形；池体主要有圆柱形、卵形和龟甲形等几种(圆柱形应用最广泛)；池顶可分为固定盖式和浮动盖式两种。

整体而言，柱形消化池的反应罐直径在6~40m之间，罐体内有一坡度为15%的锥底以及一个位于反应罐中心的排泥出口，运行时需保证罐体的污泥深度最低达到7.5m，以保证反应器内物料的充分混合，部分消化池也会配置格子状的

底部来减少罐体底部的不均匀沉砂，进而减少反应器的清洗次数。

相对应的，卵形污泥消化器是一种改进的池形，该形状的池体可降低砂石和浮渣积累，缺点为基建费较高，且缺少足够的气体贮存空间。

污泥厌氧消化一体化罐体在国内应用较多的为利浦(Lipp)罐，其具有施工周期短、造价相对较低、占地小等优点。该一体化装备建造过程中薄钢板(2~4mm厚)通过上下层之间的咬合形式螺旋上升，按“螺旋、双折边、咬合”工艺可建造成体积为100~5000m³的罐体。罐基础底板为钢筋混凝土结构，同罐体嵌固式连接，并密封处理。

Lipp罐一体化厌氧消化设施宜建成地上式，基础底板为浅埋式；在一体化厌氧罐运行过程中，罐内泥位相对较高，罐体及底板受力都较大；另厌氧罐下部设有的人孔、进料管、排渣管、循环管等工艺管道接口将使得罐底结构处于不利条件，因此在厌氧罐底部通常会设置一道环形圈梁，以限制罐体的变形。

(2)进料装备——投配池中的污泥经污泥泵抽送到消化池，目前主流的污泥厌氧消化进料系统为间歇进料。近年来，随着自控系统的逐渐重视，基于污泥流量质量控制的自动阀门广泛用于消化系统自动进料控制。溢流管一般与进料装备配套建设，以保证厌氧消化系统中液面的平衡，溢流管的直径至少为25mm。

(3)搅拌装备——通常用于维持消化系统的持续运转和避免砂石和浮渣沉积。搅拌装备一般置于池中心，当池子很大时，可设若干均布于池中的搅拌装备。搅拌方法一般有泵搅拌和沼气搅拌等。

泵搅拌通常指用泵将消化污泥从池底抽出，经泵加压后送至浮渣层表面或者消化池的不同部位进行循环搅拌，常与进料系统和池外加热系统合建，适用于小型消化池。

沼气搅拌是将消化池自身产生的一部分沼气经过压缩机加压后通过竖管或池底的扩散器再送入消化池，达到混合搅拌的目的。沼气搅拌有气提式、竖管式、气体扩散式和射流器抽吸沼气式等四种形式。

气提式搅拌是将沼气压入消化池导流管的中部或底部，使沼气与消化液混合，含气泡的污泥即沿导流管上升，起提升作用，使池内消化液不断循环搅拌达到混合的目的；竖管式搅拌根据消化池直径大小，在池内均匀布置若干根竖管，经过加压的沼气通过配气总管分配到各根竖管，从下端吹出后起到搅拌作用；气体扩散式搅拌器是使经过压缩的沼气通过气体扩散器与消化池内污泥混合，起到搅拌作用；射流式抽吸沼气搅拌是用污泥泵从消化池直筒壁的三分之二处抽吸污泥，污泥抽出后压入水射器的喷嘴，当污泥射入水射器的喉管时，形成很大的负压，经过射流器抽吸池顶的沼气，然后将混合污泥与沼气射入消化池底，形成搅拌循环。

(4)沼气收集装备——用于收集存储厌氧消化过程产生的沼气，其有效容积可按日均产气量的25%~40%来计算。大型污泥消化系统取低限，小型污泥消化系统取高限。按照储气压力的大小可分为低压式和中压式两种。

(5)沼气净化装备——通常情况下包括沼气的脱水、脱硫、脱二氧化碳过程。沼气脱水常见的方法有两种：气水分离器和凝水器。

气水分离器一般安装在输送气系统管道上、脱硫塔之前，沼气从侧向进入气水分离器，经过气水分离器后从上部离开进入沼气管网；沼气凝水器类似于城市煤气管道的凝水器，一般安装在输送气管道的埋地管网中，按照地形与长度在适当的位置安装。

沼气中的硫化氢可通过脱硫洗涤塔去除，其可分为干式和湿式两种。在常用的干式洗涤塔中一般装填有饱和三氧化二铁，俗称海绵铁。

湿式洗涤塔一般用碱性液体来吸收硫化氢，该方法具有可长期连续运行、运行费用低、需要专人值守、装备需要保养的特点。沼气中的二氧化碳则主要通过碱液吸收去除。

(6)沼气安全装备——包括消焰器、安全阀、废沼气燃烧器、滴漏阀、气压指示表、冷凝液和沉渣贮存器、引火燃烧室和低压逆止阀等。

空气中的沼气达到一定浓度时具有毒性，达到一定的浓度比例后遇到明火有爆炸的风险，因此必须对沼气安全装备予以高度重视。

3单元技术优势及组合的必要性

3.1污泥热水解技术的优势

污泥热水解技术具有如下优势：

(1)安全性：污泥热水解在反应釜中完成，无粉尘产生，运行状况良好的装备不存在爆炸危险；

(2)环保性：污泥热水解反应在密闭反应器中进行，能迅速完成杀菌和除臭过程，后续污泥处理不会产生异味问题；另污泥处于高温(160~190℃)高压(约1.5MPa)环境下，细菌、病毒等基本均被灭活，因此经消化处理后的污泥细菌指标可达到美国EPA503中A级农用标准；

(3)资源化：热水解过程中，污泥中的有机物得到释放，增加了污泥中有机质(特别是可溶性有机物)的含量，强化了污泥的可生化性能，能很好地解决我国污泥中有机质含量较低的问题；

(4)高效性：通过蒸汽对污泥间接加压加热，可破坏污泥有机物高分子结构、胶体絮体等固相物质的持水结构；污泥热水解预处理也可提高消化速率，减少污泥消化时间(15~18d)；另热水解后污泥的流动性更强，可提高进入消化池的污泥浓度(含固率可>10%)，减小约1/3的消化池容积。

3.2污泥厌氧消化技术的优势

污泥在厌氧消化过程中，能够实现污泥中有机物的高效能源化转化，其主要的优势在于：

(1)无害化：污泥在厌氧消化过程中，较高的温度(中温37℃，高温75℃)能够实现污泥中病原体的杀灭，并使得部分重金属钝化，处理后的污泥泥质明显改善；

(2)减量化：污泥经良好的厌氧消化后，有机物去除率将达到40%~50%，体积也将减少为原来的30%~50%，减量化效果明显；

(3)能源化：污泥在厌氧消化过程中单位质量挥发性固体(VS)产气量可达0.5~0.75L/(gVS)。如大连夏家河污泥厌氧消化工程每日产气量达3万m³，经济效益显著。

3.3污泥热水解和污泥厌氧消化技术结合的必要性

由于我国污泥中有机质含量的平均值低于欧美等发达国家，传统的厌氧消化技术在处理污泥的过程中存在产气率低、运行效率低下等问题，部分污泥厌氧消化设施存在稳定运行难、系统易崩溃等现象。

我国已建成的污泥厌氧消化装备近50座，这些已经存在的污泥厌氧消化装备正常运行的不足20座，与国外有明显的差距。

为了保证整个污泥厌氧消化系统的高效运行，实现污泥的稳定化和无害化处理处置，采用合理的预处理技术势在必行。目前常用的污泥预处理技术主要包括碱处理、热水解、超声等。

热水解由于其良好的污泥破壁能力、高效的脱臭能力、优良的污泥病原体杀灭功能等，被广泛应用于污泥的厌氧消化技术的预处理过程。

污泥经过热水解预处理之后，微生物絮体解体，微生物细胞破碎，胞外聚合物(EPS)中呈聚合结构的有机物大量释放并进入上清液，进入上清液中的该部分有机物分子量较小、易于生物降解；因此，热水解提高了污泥的可生物降解性，将使得污泥厌氧消化的有机物去除率提高，甲烷产量增加，污泥的脱水性能改善。

第二，该工艺对污泥饼中病原菌的杀灭使得处理后污泥的处置途径趋于多样化。此外，热水解将提升污泥的脱水性能，有效提高消化反应池的含固率，减少消化池的土建投资和运行费用。

4实际处理工程应用

长沙市污水处理厂污泥集中处置工程近期(2015年)建设规模为500t/d，远期(2020年)建设规模为1000t/d，采用“热水解+污泥厌氧消化+脱水+干化”工艺。干化后污泥按照《城镇污水处理污泥处置混合填埋用泥质》(GB/T23485—2009)的要求，作为垃圾填埋场覆盖土的添加料。

近期工程处理污泥量为434t/d，餐厨垃圾处理量为66t/d。污泥指标：进泥含水率为80%，进泥有机物含量为45%。上述处理处置后的污泥在后续板框脱水中，含固率可将至40%以上。工程总投资37785.36万元，单位生产成本为347.9元/t湿污泥。

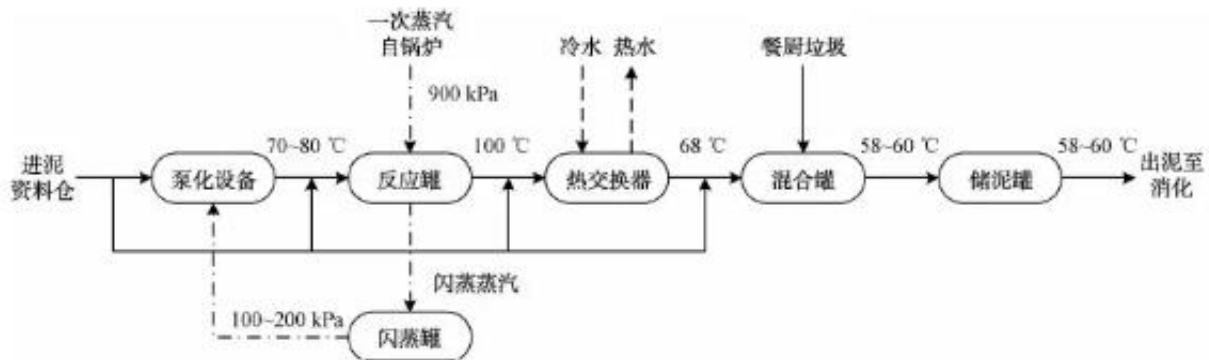


图3污泥热水解+厌氧消化系统示意图

5工程建设展望

随着我国污泥处理处置工作的不断推进，污泥热水解+厌氧消化技术有望在污泥治理工程中扮演重要的角色。为了更好地发挥上述组合工艺的优势，本文为今后污泥热水解+厌氧消化工程的建设提出如下建议：

- (1)充分重视我国污泥泥质特性，做好污泥除砂和运行过程中的砂沉降防治工作，建议通过加强沉砂池运行效能和强化搅拌的方式对上述问题进行解决；
- (2)结合不同地域的污泥特性，构造多形式的污泥水热装置；
- (3)充分利用热水解余热，探索污泥热水解+厌氧消化工艺能源梯级利用的新模式，做到能源的高效回收；
- (4)探索污泥热水解和碱处理等其他预处理技术的结合，实现污泥中有机物的进一步溶出。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/128635.html>