

第一节 污泥处理及处置

一、 简介

（一） 污泥处理的定义

污泥处理（suldge treatment）：对污泥进行浓缩、调治、脱水、稳定、干化或焚烧的加工过程。

二、 污泥的分类

污泥处理前，首先要了解污泥的分类，才能确定污泥处理的方法：

污泥来源	污泥分类
1.自来水厂沉淀池或浓缩池排出的物化污泥处理	属中细粒度有机与无机混合污泥，可压缩性能和脱水性能一般。
2.生活污水厂二沉池排出的剩余活性污泥处理	属亲水性、微细粒度有机污泥，可压缩性能差，脱水性能差。
3.工业废水处理产生的经浓缩池排出的物化和生化混合污泥处理	属中细粒度混合污泥，含纤维体的脱水性能较好，其余可压缩性能和脱水性能一般。
4.工业废水处理产生的经浓缩池排出的物理法和化学法产生的物化细粒度污泥处理	属细粒度无机污泥，可压缩性能和脱水性能一般。
5.工业废水处理产生的物化沉淀粗粒度污泥处理	属粗粒度疏水性无机污泥，可压缩性能和脱水性能很好。

三、 污泥处理处置技术一览

1、污泥处理利用的一般技术

- （1）污泥的堆肥化处理技术
- （2）污泥的建材化技术
- （3）污泥的燃料化技术
- （4）污泥的厌氧消化（制沼气）技术

2、污泥的电离辐射处理技术

3、微波技术在污泥处理中的应用

- （1）微波辐照污泥处理技术

-
- (2) 微波化学分析技术
 - 4、超声波处理污泥技术
 - 5、重金属的生物有效性及植物脱除技术
 - 6、污泥的微生物处理技术
 - (1) 微生物淋滤技术
 - (2) 微生物吸附处理法
 - (3) 微生物脱臭技术
 - 7、新兴污泥热化学处理技术
 - (1) 湿式氧化技术
 - (2) 活性污泥作黏结剂
 - (3) 剩余污泥制可降解塑料
 - (4) 污泥制活性炭
 - (5) O₃/H₂O₂ 氧化技术
 - (6) UV/O₃ 氧化技术
 - (7) UV/H₂O₂ 氧化工艺
 - (8) 其他热化学处理技术简介

四、 污泥处理步骤

(一) 浓缩

首先，原污泥通过污泥泵由二沉池打到另一个池子中从而和上清液分离。因为原污泥的含水率通常能达到 99.5%，所以污泥必须浓缩，有多种可行的方法用于减少污泥的体积。例如真空过滤和离心等机械处理的方法通常用于将污泥以半固体形式处置之前。通常这些方法是污泥焚烧处理的准备工作。如果计划采用生物处理，则多数才用重力沉降或者是气浮的方法进行浓缩。这两种情况所对应的污泥仍然是流态的。

重力浓缩池的设计和运行类似于污水处理中的二沉池。浓缩功能是主要的设计参数，为了满足更大的浓缩能力，浓缩池基本上比二沉池要深。一个设计正确，运行良好的重力浓缩池至少能提高两倍的污泥含泥量。也就是说，污泥的含水率可以有 99.5%减少到 98%，或者更少。这里值得一提的是，重力浓缩池的设计

要尽量基于中式结果的分析，因为合适的污泥负荷率与污泥的属性的有很大关系的。

如果采用溶气气浮浓缩，需要有一小部分的水，通常是二沉池出水，在400kPa 的压力下充气。这种过饱和的液体通入罐底，而污泥在大气压下通过。气体以小气泡的形式和污泥中的固体颗粒黏附，或则是被包围，从而带动固体颗粒上浮到表面。浓缩了的污泥的上部被除去，而液体由底部流回溶气罐充气。

（二） 降解消化

体积减少后，污泥中含有大量的有害成分，在处置之前需要将之转化为惰性成分。最常用的方法是生物降解稳定。因为这个过程目的在于将物质转化为最终无菌产物，所以常应用消化的方法。污泥消化既能进一步的减少污泥体积也能使所含固体转化为惰性物质并且大体的上没有病菌。通过厌氧消化或好氧消化都能达到污泥消化目的。

污泥含有多种有机物，因此需要多种微生物来分解。有关资料将厌氧消化中的微生物分为两类：产酸菌和甲烷菌。所以，我们也能把厌氧消化分为两步。第一步，由兼性厌氧菌和厌氧菌组成的产酸菌通过水解作用溶解有机固体。接着溶解质由发酵作用转化为酒精和低分子量分子。第二步，有严格厌氧菌组成的甲烷菌将乙酸、酒精、水和二氧化碳转化为甲烷。因为两种菌群只能在无氧的环境下存活，所以厌氧消化的反应器必须是密闭的。设计容器的时候同时也要考虑另外的一些因素，例如：温度、pH 值和混合物搅拌。

污泥也可以通过好氧消化稳定。这种消化基本上只能用于可生化污泥而不能用于初沉池污泥，伴随着二沉池和污泥浓缩池中污泥体积的减少，这个工艺需要不断的鼓气。好氧消化多应用于深度曝气系统。再者，好氧消化对环境条件不敏感，也不局限有流行变化。

（三） 处置

污泥消化以后，污泥中的有机物能被去除并且能进一步的减少污泥体积。接下来，污泥需要处置。多种方法可以用来有效的处置污泥。其中包括焚烧、卫生填埋和用作化肥以及土壤改良剂。原污泥可以用来焚烧，可以有效地减少含水率。添加燃料可以用来引起和维持燃烧，城市垃圾也可能用来达到这个目标。原污泥

和消化污泥也可以用卫生填埋来处置。污泥的土地应用实践了好几年，而现在只限于处理消化污泥。污泥的营养成分有利于植物成长，而其颗粒特性可用于土地改良。这些应用局限有饲料作物和非人类消费，而运用于支持可食用植物的可能性正在研究中。污泥土地应用的主要限制因素为植物富集金属毒性和水体富营养污染。污泥的应用可通过在流态时由喷淋器喷淋、沟渠导流或直接注入土壤。去水污泥可以由传统农用机械铺设在土地之上在和培养土壤。

五、 几种污泥处理的方法及优缺点分析

①污泥的卫生填埋

这种处置方法简单、易行、成本低，污泥又不需要高度脱水，适应性强。但是污泥填埋也存在一些问题，尤指填埋渗滤液和气体的形成。渗滤液是一种被严重污染的液体，如果填埋场选址或运行不当会污染地下水环境。填埋场产生的气体主要是甲烷，若不采取适当措施会引起爆炸和燃烧。

②污泥的直接土地利用

污泥土地直接利用因投资少、能耗低、运行费用低、有机部分可转化成土壤改良剂成分等优点，被认为是最有发展潜力的一种处置方式，科学合理的土地利用，可减少污泥带来的负面效应。林地和市政绿化的利用因不易造成食物链的污染而成为污泥土地利用的有效方式。污泥用于严重扰动的土地（如矿场土地、森林采伐场、垃圾填埋场、地表严重破坏区等需要复垦的土地）的修复与重建，减少了污泥对人类生活的潜在威胁，既处置了污泥又恢复了生态环境。

③污泥的焚烧

湿污泥干化后再直接焚烧应用得较为普遍，没有经过干化的污泥直接进行焚烧不仅十分困难，而且在能耗上也是极不经济的。

以焚烧为核心的污泥处理方法是最彻底的污泥处理方法之一，它能使有机物全部碳化，杀死病原体，可最大限度地减少污泥体积；但是其缺点在于处理设施投资大，处理费用高，设备维护成本高，而且产生强致癌物质二恶英。

六、 污泥处理新技术

随着环保力度的加强和人们对已有污泥处理处置技术局限性的进一步认识，世界各国都在投入重金研发新技术，争取找到更经济、更合理的污泥处理方案。

（一） 免费处理处置

该技术创新采用污泥洗涤工艺，首先洗出污泥中有机物质，分离无机物质污泥土，再将有机污泥浓缩进行高温厌氧消化处理。沉淀污泥经过洗涤洗出污泥中一半固体无机污泥土，减少了一半生物处理量，节省工程投资和处理费用；单独处理有机污泥，去除了无机污泥土在反应器中的沉淀，减少了设备磨损和反应器的维护；沉淀污泥经过洗涤洗出污泥中大部分容易沉淀的重金属和无机污泥土，提高了有机肥的品质；洗涤出的污泥土还可生产路面彩砖、透水砖。其他创新工艺：超高温厌氧消化、多级厌氧消化、沼渣漂浮等，污泥生物处理速度提高了几倍和沼气产量提高 20% 以上。

沉淀污泥生物处理系统，工程设计创新采用地埋式、紧密型、多级消化反应器设计，几个独立的厌氧消化反应器你中有我我中有你浑然一体，节省建筑材料，采用混凝土结构造价低廉。目前国内外现有的厌氧消化反应器普遍采用地上式结构，地上式结构能使配备设备便于维护和有利沼渣排放预防沼渣沉淀。该生物处理系统工程设计很好地解决了配套设备的维护和沼渣沉淀，系统配备设备少，只需要几台水泵，就是水泵坏了更换一台用不完 20 分钟，保证设备检修不停产；沉淀污泥经过洗涤去除了容易沉淀的无机污泥土，有机污泥经吹浮系统作用全部漂浮不会沉淀。地埋式厌氧消化反应器不仅投资少、不占用土地，而且还能防地震、防雷击和使用寿命长、减少消化系统的热量损失。

以设计一个日处理 600 吨含水量 80% 的沉淀污泥洗涤、生物处理厂 为例，处理能力、污泥含水量与大连夏家河污泥处理厂（2010 年全国示范工程第一名）完全相同，与其相比仅需要 20% 投资。处理厂日常运营费用较低，处理污泥产生的副产品沼气发电创收，沼渣制成有机肥料创收，污泥土生产路面彩砖、透水砖创收，生物处理沉淀污泥不要政府补贴资金和污水处理厂支出污泥浓缩费、运输费，还能获得可观的经济效益。处理厂日常运营费用较低与大连夏家河污泥处理厂相比，处理一吨含水量 80% 的沉淀污泥节省政府补贴资金 135 元（全国最低价）

和污水处理厂支出的污泥浓缩费、运输费总计在 200 元以上。沉淀污泥洗涤、生物处理厂占用土地面积少，筹建在污水处理厂中，适合各种规模的污水处理厂，较小规模的污水处理厂可添加当地餐厨垃圾、化粪池垃圾、市政下水道污泥及周边企业、村镇小型污水厂污泥一起处理，增大处理规模实现盈利。目前国内外现有污泥处理技术还没有能够达到免费处理、处置污泥的水平。

（二）石灰投加技术

脱水后的污泥进入料斗，料斗中加入石灰和氨基磺酸，石灰投量为湿泥量的 10%—15%，氨基磺酸的投量约为石灰投量的 1%。由于氨基磺酸在反应过程中产生氨气，增强了整个工艺的杀菌效果，降低了反应温度。污泥、生石灰和氨基磺酸在料斗中搅拌后，由双螺旋进料机推入柱塞泵进料口，通过柱塞泵送入反应器，在 70℃ 下停留 30 min，输出的产品可达到美国 EPA PART503 CLASS A 标准。反应后的污泥泵送至料仓，密封容器中产生的气体经洗涤塔处理后排放。

该工艺的特点：

pH>12，延续时间长，杀菌彻底；高 pH 使大部分金属离子沉淀，降低了其可溶性和活跃程度；污泥的含固率可提高至 30%；去除了污泥中的臭气，系统全密封，无环境污染；系统全自动，操作维护简单；加入少量氨基磺酸，减少了石灰用量和反应时间，降低了运行成本。

（三）污泥碳化技术

所谓污泥碳化，就是通过一定的手段，使污泥中的水分释放出来，同时又最大限度地保留污泥中的碳值，使最终产物中的碳含量大幅提高的过程(Sludge Carbonization)。在世界范围内，污泥碳化主要分为 3 种。

(1)高温碳化。碳化时不加压，温度为 649—982℃。先将污泥干化至含水率约 30%，然后进入碳化炉高温碳化造粒。碳化颗粒可以作为低级燃料使用，其热值约为 8 360—12 540 kJ/kg(日本或美国)。技术上较为成熟的公司包括日本的荏原、三菱重工、巴工业以及美国的 IES 等。该技术可以实现污泥的减量化和资源化，但由于其技术复杂，运行成本高，产品中的热值含量低，目前尚未有大规模地应用，最大规模的为 30 删湿污泥。

(2)中温碳化。碳化时不加压，温度为 426—537℃。先将污泥干化至含水率约 90%，然后进入碳化炉分解。工艺中产生油、反应水(蒸汽冷凝水)、沼气(未冷凝的空气)和固体碳化物。该技术的代表为澳大利亚 ESI 公司。该公司在澳洲建设了 1 座 100t/d 的处理厂。该技术可以实现污泥的减量化和资源化，但由于污泥最终的产物过于多样化，利用十分困难。另外，该技术是在干化后对污泥实行碳化，其经济效益不明显，除澳洲一家处理厂外，目前尚无其他潜在的用户。

(3)低温碳化。碳化前无需干化，碳化时加压至 6—8 MPa，碳化温度为 315℃，碳化后的污泥成液态，脱水后的含水率 50% 以下，经干化造粒后可作为低级燃料使用，其热值约为 15 048~20 482 kJ/kg(美国)。

该技术通过加温加压使得污泥中的生物质全部裂解，仅通过机械方法即可将污泥中 75% 的水分脱除，极大地节省了运行中的能源消耗。污泥全部裂解保证了污泥的彻底稳定。污泥碳化过程中保留了绝大部分污泥中热值，为裂解后的能源再利用创造了条件 14t。

污泥水解热干化技术污泥水热干化技术通过将污泥加热，在一定温度和压力下使污泥中的粘性有机物水解，破坏污泥的胶体结构，可以同时改善脱水性能和厌氧消化性能。随水热反应温度和压力的增加，颗粒碰撞增大，颗粒间的碰撞导致了胶体结构的破坏，使束缚水和固体颗粒分离。经过水热处理的污泥在不添加絮凝剂的情况下机械脱水的含水率大幅度降低。污泥的水解宏观上表现为挥发性悬浮固体浓度减少和 COD、BOD 以及氨氮等浓度增加。水热干化技术采用浆化反应器，通过闪蒸乏汽返混预热浆化、蒸汽与机械协同搅拌，提高了系统的处理效率；在水热反应器中，采用蒸汽逆向流直接混合加热的方式，强化了传质传热过程，可以避免局部过热结焦碳化；在连续闪蒸反应器中，实现了系统能量的有效回收。

七、 含油污泥的处置

现在，很多导致类型污染的具有不同特性污泥正在研究中。一种来自于产油和石油工业的代表性污泥就是为含油污泥。

大量的污泥产生，而这种污泥中含有相当大量的油，必须在最终处置之前将之去除。炼油厂产生的污泥不能被安全的处置，除非将其含油量去除到一定程度。此外，在炼油厂的油水分离系统和储油罐中因为含油原料的累积而产生的污泥的处理费用很高，并且对环境造成很严重的污染。石油是一种疏水混合物例如：烷烃，芳香烃，树脂和沥青。许多化合物是有毒性的，致突变的和致癌的。它们的排放的受到严格控制的，因为它们对人体健康和环境的负面影响，它们被美国环保部门分类并列为环境污染物优先。

有很多种方法可以用来处理含油污泥。化学和物理的方法例如：焚烧、氯氧化、臭氧氧化和燃烧，生物的处理方法例如：生物修复、传统堆肥法等等。现在，随着技术的发展，含油污泥的低温冷处理和生物修复成为了两条有效的处理途径。

低温冷处理技术作为一种物理的处理方法能有效地增加污泥的脱水性质，改变絮凝剂的结构形式并减少污泥周围的水含量。比较那种“初沉降”，冷处理能够除掉溶液中的杂质，因此达到更好浓缩目的，最近就是在讨论冷处理的这种好处。据我们所知，现在的资料中没有讨论冷处理技术来分离油泥中的油的可行性。但是，如果在自然条件允许的许多国家里，冷处理技术提供了一种有效的处理含油污泥的处理和处置的方法。

通过比较常规方法处理和冷处理之后污泥，我们可以发现，冷处理之后的样品上面浮了一层油。最后我们可以发现试管中分三层：最上面的一层是清的浮油，底层是一层深色的沉降物，中间一层是清水。原始的污泥经过 24 小时的沉降，可以看见上浮液和底部沉降物，但是没有可见的油相。通过上面的叙述的现象揭示了简单的冷处理能有效分离油泥中的油。

物理化学的方法可以用来处理油泥，但是费用却是很高的。堆肥和通过接种降解油类菌种或激活原有生物进行生物修复被看为两种经济的方法来对付油污染。堆肥有些看得见的优点例如：基建和维护费用低、设计和运行简单并能去处部分的油。然而，堆肥处理基本上不能达到现在环境的标准了。

油泥中含有的大部分油是难于生物降解的。很多研究证明了生物修复对含油土壤的高效处理，但是只是针对含油量高的污染物。大部分实验在实验室中进行，而行业应用的很少。

八、 术语

（一） 污泥分类

原污泥（raw sludge）：未经污泥处理的初沉淀污泥。二沉剩余污泥或两者的混合污泥。

初沉污泥（primary sludge）：从初沉淀池排出的沉淀物。

二沉污泥（secondary sludge）：从二次沉淀池（或沉淀区）排出的沉淀物。

活性污泥（activated sludge）：曝气池中繁殖的含有各种好氧微生物群体的絮状体。

消化污泥（activated sludge）：经过好氧消化或厌氧消化的污泥，所含有机物质浓度有一定程度的降低，并趋于稳定。

回流污泥（returned sludge）：由二次沉淀（或沉淀区）分离出来，回流到曝气池的活性污泥。

剩余污泥（excess activated sludge）：活性污泥系统中从二次沉淀池（或沉淀区）排出系统外的活性污泥。

污泥气（sludge gas）：在污泥厌氧消化时，有物分解所产生的气体，主要成分为甲烷和二氧化碳，并有少量的氢、氮和硫化氢。俗称沼气。

（二） 污泥处理环节

污泥消化（sludge digestion）：在氧或无氧的条件下，利用微生物的作用，使污泥中的有机物转化为较稳定物质的过程。

好氧消化（aerobic digestion）：污泥经过较长时间的曝气，其中一部分有机物由好氧微生物进行降解和稳定的过程。

厌氧消化（anaerobic digestion）：在无氧条件下，污泥中的有机物由厌氧微生物进行降解和稳定的过程。

中温消化（mesophilic digestion）：污泥在温度为 33-53℃ 时进行的厌氧消化工艺。

高温消化（thermophilic digestion）：污泥在温度为 53-75℃ 进行的厌氧消化工艺。

污泥浓缩（sludge thickening）：采用重力或气浮法降低污泥含水量，使污泥稠化的过程。

污泥淘洗（elutriation of sludge）：改善污泥脱水性能的一种污泥预处理方法。用清水或废水淘洗污泥，降低消化污泥碱度，节省污泥处理投药量，提高污泥过滤脱水效率。

污泥脱水（sludge dewatering）：对浓缩污泥进一步去除一部分含水量的过程，一般指机械脱水。

污泥真空过滤（sludge vacuum filtration）：利用真空使过滤介质一侧减压，造成介质两侧压差，将污泥水强制滤过介质的污泥脱水方法。

污泥压滤（sludge pressure filtration）：采用正压过滤，使污泥水强制滤过介质的污泥脱水方法。

污泥干化（sludge drying）：通过渗滤或蒸发等作用，从污泥中去除大部分含水量的过程，一般指采用污泥干化场（床）等自蒸发设施或采用蒸汽、烟气、热油等热源的干化设施。

污泥焚烧（sludge incineration）：污泥处置的一种工艺。它利用焚烧炉将脱水污泥加温干燥，再用高温氧化污泥中的有机物，使污泥成为少量灰烬。