

# 剩余污泥的处理处置和资源化利用综述

张自豪 张 豪

华北水利水电大学环境与市政工程学院 河南郑州 450000

**摘要:**近年来,国内污水处理取得良好成绩,但对剩余污泥的处理和利用还需提高。文章对剩余污泥的减量化、稳定化和资源化的技术方法进行了总结概括,提出了相关技术工艺并分析了各种方法的优缺点。

**关键词:** 剩余污泥; 减量化; 稳定化; 资源化

## Review on the treatment, disposal and resource utilization of surplus sludge

Zihao Zhang, Hao Zhang

School of Environment and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, Henan, 450000

**Abstract:** In recent years, domestic sewage treatment has achieved good results, but the treatment and utilization of residual sludge need to be improved. In this paper, the methods of reduction, stabilization, and recycling of residual sludge are summarized, the relevant technical processes are put forward and the advantages and disadvantages of each method are analyzed.

**Keywords:** Residual sludge; Reduction; Stabilization; Recycle resources

随着我国经济的快速发展,城市发展也越来越快,规模越来越大,城市污水的排放量逐渐增多。活性污泥法作为当前国内受欢迎的水处理技术,不可避免的产生了大量的剩余污泥。污泥的成分十分复杂,包含大量有机物、微生物、重金属、N、P、K等无机元素,如果不能妥善处理会造成二次污染,对环境产生直接或间接的影响。但污泥中所含的无机元素可以为植物提供所需物质,同时有机质具有高热值,可做生物质燃料。因此将剩余污泥的处置和资源化结合发展,不仅可以减少污水厂的成本还可以带来间接的环境效益。为解决二次污染的问题,应对剩余污泥的处理处置做到稳定化、无害化、资源化和减量化。

本文就国内近几年对剩余污泥的主要资源化技术、稳定化技术,减量化处理技术进行介绍和简单分析。

### 一、剩余污泥的减量化技术

#### 1.1 源头减量化

剩余污泥处理装置的运营成本占污水处理厂总成本的25%~65%<sup>[1]</sup>,巨额的费用为污泥的处理带来了很大的阻碍。且随着污泥处理需求量的不断增加,从源头对污泥做减量化处理,不仅可以减轻后续处理压力,还能够降低污泥处理的成本。

污泥的源头减量化技术大致可分为微生物捕食、解偶联代谢、内源代谢、隐性增长和胞溶等<sup>[2]</sup>。微生物捕食依据的是食物链法则,每个污水处理过程都可看作是一个小型生态系统。而原生生物和后生物大多处于这些生态系统顶端。这些生物被应用于污泥处理过程中,它们便会对其他小型微生物进行捕食,从而达到污泥减

量化的目的<sup>[3]</sup>。该技术降解污泥效果明显,运行费用低且不会对环境造成二次污染。但该技术处理过程中降解效果不稳定,微生物捕食对象不专一,同时对污水中总氮和总磷的去除效率不高<sup>[4]</sup>。解偶联代谢是指将抑制细胞氧化磷酸化过程的解偶联剂加入到处理过程中,从而改变微生物能量的转化方向,抑制细胞代谢,达到污泥减量化的目的。内源代谢则是通过延长曝气时间,使微生物停留在内源代谢阶段,促进微生物分解,实现减量化。胞溶和隐性处理是最常用的,其中胞溶技术是指通过对微生物做胞溶处理,使得胞外聚合物和胞内有机质进入到外界液体环境中,为反硝化过程提供碳源,即降低了污泥处理量,还节约了经济成本<sup>[5]</sup>。

#### 1.2 污泥浓缩

剩余污泥含水率较大,体积较大,经过初沉、二沉池处理后的污泥仍具有较高的含水率。如果不对污泥进一步处理,则会为后续处理过程带来困难。当污泥含水率由99%降至96%时,污泥的体积可缩小到原来的1/4。污泥浓缩的原理是通过缩减间隙中的水,从而减少污泥的体积<sup>[6]</sup>。污泥浓缩主要有重力浓缩、气浮浓缩和离心浓缩三类。重力浓缩是通过重力沉降使污泥与水分离,该方法简单,成本低,但是效率也低;气浮浓缩是指通过气浮池池底的小孔释放小气泡,带动污泥颗粒上浮并浓缩,该方法适用于疏水性和浓缩时容易发酵的污泥,但由于运行成本高,并未被广泛推广使用。离心浓缩是利用固体颗粒与液体的密度不同,通过离心使其分离的方法。该方法效率高,占地面积小且卫生,适用于处理难脱水的物质<sup>[7]</sup>。

#### 1.3 污泥脱水

污泥浓缩后依然保有较高的含水率, 具有较大的流动性。通过脱水处理可以将污泥含水率<sup>[1]</sup>降到 65%~82% 以下, 其体积为原体积的 1/4~1/13。缩小污泥的体积, 为后续处理提供了方便, 而且减少了经济成本。污泥脱水一般分为两种方法, 自然干化法和机械脱水法。其中自然干化法是利用自然条件使污泥中的水分自然蒸发, 干化效果受湿度、蒸发量和气温的影响, 适用于干旱、少雨和沙土地地区。但占地面积大, 干化效率低, 易对环境造成二次污染。机械脱水法应用的较多, 常用的机械脱水设备有叠螺脱水机、板框脱水机、带式脱水机、离心机脱水机。机械脱水主要分为真空吸滤、离心脱水和压滤三种方式。其中压滤分为带式压滤和板框压滤, 近年来, 板框压滤应用较多<sup>[8]</sup>。

#### 1.4 污泥干化

污泥干化为脱水后的一个环节, 其目的是进一步降低污泥的含水率, 减小体积。污泥干化主要分为自然干化和热干化, 自然干化同脱水步骤中的一样。热干化又分为直接干化和间接干化。直接干化法处理效率高, 但能耗大, 运行成本高, 同时容易排放污染环境的气体。间接排放法成本低, 不易对环境造成伤害。因此, 间接热干化法应用的较多。随着经济的发展, 一些新的干化技术随之出现, 如太阳能干化、化学干化和微波干化。由于技术和环境因素的限制, 在实际工程中并未得到广泛应用<sup>[8]</sup>。

### 二、剩余污泥的稳定化技术

剩余污泥稳定化也是一个重要的处理环节, 对后续资源化利用有较大的影响。其旨在降解有机物、打破细胞壁、杀死病原体等微生物, 减少对环境的二次污染。常用的稳定化技术主要有石灰稳定法、热水解处理法、厌氧消化法、好氧消化法等<sup>[1]</sup>。

#### 2.1 石灰稳定化技术

石灰稳定法主要解决污泥处理过程中的臭气问题。通过加入石灰, 形成碱性环境, 从而抑制参与臭气反应微生物的活动。污泥石灰稳定法还可以去除水分。当生石灰遇到水会发生化学反应, 生成氢氧化钙, 放出热, 从而消耗和蒸发了一部分的水量。该方法简便, 经济成本低, 但是反应后的固体产物体积较大, 会扩大污泥处理产物的体积, 增加后续处理成本。

#### 2.2 热水解处理

热处理法的原理是在特定的压力下, 短时间内对污泥进行加热处理, 从而达到破坏凝胶体结构, 微生物解体和破碎的目的。该方法可以有效解决污泥臭气的问题。同时经处理后, 细胞中的有机质被释放出来并水解, 降低了固体和水之间的亲和力, 有效提高了污泥脱水的效率, 这为后续资源化利用提供了便利。据清华大学研究得出, 污泥经过水热处理后, 其内部的水形态分布会发生改变, 改善了污泥脱水和沉降的性能, 同时也提高了

消化的速率, 增加了产气量<sup>[9]</sup>。

#### 2.3 厌氧消化

厌氧消化指的是有机物在无氧的条件下, 被部分兼性厌氧和厌氧的微生物分解成甲烷和二氧化碳等气体的过程。其主要分为三个阶段, 水解, 产酸, 产甲烷。国内已有对发酵产酸阶段相关的研究, 提出利用生物领域的控制技术, 将厌氧发酵控制在酸化阶段, 利用其产生的 VFA (挥发性脂肪酸)。VFA 可以除去富营养化水中的 N、P, 生产生物可降解塑料, 还可作为发酵工业的生产原料<sup>[2]</sup>。厌氧消化作为污水处理厂常用的技术之一, 不仅可以有效降低剩余污泥中有机质的含量, 还能够二次利用气体产物, 被认为是资源最可行、最环保的工艺之一。然而在实际应用过程中出现了诸多的问题, 如有机质降解率低, 污泥龄较长等问题。还需要进一步去发展和解决<sup>[10]</sup>。

#### 2.3 好氧消化

好氧消化法指的是, 通过长时间曝气使微生物在内源呼吸阶段进行自身氧化。微生物利用氧气, 对有机物等可降解物质进行分解, 从而使污泥趋于稳定, 还可以减少污泥量。据研究, 温度对好氧消化法的效率影响, 温度是好氧消化的一大影响因素。当温度降低时, 为达到污泥稳定处理的目的则要延长污泥停留时间。美国 EPA 提出了污泥好氧消化的设计曲线, 当好氧消化的温度 (°C) 与 SRT(d) 的乘积 (为横坐标) 为 400~500 (°C · d) 时, 即可获得较理想的 VSS 去除率<sup>[11]</sup>。好氧消化法的投资成本低、易操作, 对 BOD 的去除效果好, 但是由于动力需求较大, 故运行成本高。

### 三、剩余污泥的资源化技术

污泥中含有多种多样的成分, 可以作为能源物质。合理利用剩余污泥中的有用物质, 不仅可以带来经济效益, 节省处理厂的总运行支出, 还能够提高污泥的利用率, 做到进一步处理和处置, 减少二次污染的概率。目前剩余污泥的资源化技术有很多, 如堆肥技术, 能源化技术, 建材化技术, 制农肥, 厌氧消化产沼气, 制砖, 制水泥, 制陶粒, 制作吸附剂, 制作 PHA, 热量利用等等

#### 3.1 堆肥技术

污泥堆肥技术的应用已经非常普遍, 经过堆肥之后, 污泥中大量的病原体和细菌等微生物被杀死, 重金属的毒效应会减弱, 营养机质含量提高, 可利用性和稳定性增加。将污泥进行无害化处理后, 根据需要制成不同种类的农肥, 可以大大提高农作物的产率。邵蕾等<sup>[12]</sup>将污泥有机肥用于种植油菜的探究实验并得出结论, 有机肥有显著的增产效果, 在不超过一定量的时候, 随着有机肥用量的增加而产量增加。

#### 3.2 能源化技术

污泥能源化技术主要指的是通过特定的处理方法,

将污泥制成能源产品。目前的资源化利用技术主要有：污泥制氢、热解制油、发酵制沼气等<sup>[13]</sup>。氢气作为一种新的清洁能源，它不仅具有较高的热值而且燃烧无污染。污泥在无氧或缺氧的环境中，300~500℃发生热裂解而生成产物油、碳、水等物质，此方法被称为低温热解，此外还有直接液化制油的方法，两者比较，低温热解法运行简便，对设备硬件的要求相对来说不高，因此成为了比较流行的制油方法。发酵制沼气也是在无氧的条件下，通过微生物降解有机物从而生成甲烷等可利用气体。该技术应用较多，且历史较长，具有可靠性。

### 3.3 污泥建材化技术

污泥建材化利用是剩余污泥资源化利用的一个重要方向，不仅能够缓解资源短缺的问题，更可以减少环境污染。污泥中的硅、铝、铁、钙等无机物与常用的建筑材料成分类似，可以作为原材料进行替代使用。目前剩余污泥经过处理后主要用来制水泥、制陶粒和制砖等。污泥渣的成分接近石灰石的成分，将有害垃圾焚烧后产生的焚烧灰与污泥进行混合，即可制得生态水泥。这种水泥流动性强，凝固时间短，析水率小。污泥通过烘干、磨碎、烧结处理后，可以制得陶粒，以污泥为原材料代替了部分黏土，节省了土地资源，保护了农田。地砖或广场砖对材料的抗压、抗折性能要求不高，而污泥中所含的化学成分恰好具有这一特点，污泥制砖减少了原料成本，经济性强。此外小颗粒的污泥结合制成的砖空隙更小，颗粒间结合面积更大，更加紧密。

## 四、结语

我国的污水处理量非常大，且由于技术、经济等限制因素，对活性污泥法处理后产生的剩余污泥，并未达到高效利用。资金供给不足等诸多问题，使得污水处理厂与行业存在着严重的“重水轻泥”现象。目前我国虽然基本实现了减量化，但是面对资源化，无害化等还需要做出进一步的努力。《“十三五”规划》中提出要加快加强对剩余污泥的资源化、无害化和稳定化的处理，由此可见，国家越来越重视污泥处理技术的相关发展。近年来，国内也出现了诸多的污泥处理新技术，如污泥干化芦苇床技术、人工湿地技术、微生物燃料电池技术

等<sup>[14]</sup>。在未来，我国的剩余污泥处理行业要在现有的基础之上，向无害化、稳定化更进一步，同时重点应放在资源化利用上，取得经济效益和生态效益。

### 参考文献:

- [1] 张宏哲. 剩余污泥低碳循环处理及资源化利用技术研究 [J]. 安全、健康和环境, 2016,16(07):29-33.
- [2] 尹逸龙, 徐约珥, 王重阳. 剩余污泥减量化与资源化应用研究 [J]. 河南科技, 2021,40(21):83-85.
- [3] 李立欣, 赵乾身, 马放, 潘鹏志. 废水处理中污泥减量技术现状及发展趋势 [J]. 水处理技术, 2015,41(01):1-4.
- [4] 王英俊, 周振, 李进民, 王罗春, 黄超, 李峰. 污水处理厂污泥过程减量技术的研究进展 [J]. 环境科学与管理, 2011,36(10):98-102.
- [5] 李兆瑞, 刘永德. 基于超声的联合污泥溶胞技术研究进展 [J]. 绿色科技, 2021,23(08):138-141.
- [6] 戴晓虎. 国内外污泥处理处置技术比较 [J]. 水工业市场, 2012,(04):15-17+11.
- [7] 黄英才, 许丹丹, 白少元, 刘宇辉. 我国城镇污泥资源化利用综述 [J]. 环境与发展, 2020,32(11):250-252.
- [8] 魏亮, 金星, 马丽萍. 污水厂剩余污泥处理处置技术研究进展 [J]. 农业与技术, 2021,41(08):8106-8108.
- [9] 荀锐, 王伟, 乔玮, 尹可清. 城市污泥处理现状与强化脱水的水热减量化技术 [J]. 环境卫生工程, 2008,(02):28-32.
- [10] 王晨, 施素丽. 剩余污泥预处理技术研究进展 [J]. 河北环境工程学院报, 2021,31(04):62-66.
- [11] 彭永臻, 陈滢, 王淑莹, 李利生. 污泥好氧消化的研究进展 [J]. 中国给水排水, 2003,(02):36-39.
- [12] 邵蕾, 王丽霞, 马元民, 丛惠芳, 武长飞. 污泥有机肥在油菜上的应用研究 [J]. 北方园艺, 2013,(23):178-180.
- [13] 王杰, 熊祖鸿, 石明岩. 污泥能源化技术研究进展 [J]. 现代化工, 2021,41(07):99-102.
- [14] 李娟, 肖恩荣, 吴振斌. 剩余污泥资源化利用新工艺研究进展 [J]. 水生生物学报, 2017,41(05):1149-1156.