

基于好氧消化的城市污泥腐殖化机理及资源化

王昊天

广西大学, 南宁 530004, 中国

摘要: 目前, 我国城市污泥的合理处置与控制才刚刚起步, 处理方法还比较落后, 较易造成二次污染, 因此采用污泥间歇式好氧腐殖化处理是一项比较先进的技术, 值得进行推广。城市污泥的资源化利用也十分迫切。本文旨在研究基于好氧消化的城市污泥腐殖化工作机理及其资源化研究。本文采用多种调查方法, 对某市连续 5 年的污泥处理方法进行调查比较, 并比较其资源化利用率; 某省 3 家主要城市污泥处理厂好氧腐殖化污泥处理方法的使用频率及目前存在的困难; 通过文献分析, 总结出城市污泥好氧消化腐殖化法的机理; 从 4 个方面得出某省 3 家主要城市污泥处理厂好氧腐殖化污泥处理方法的资源化转化情况。结果表明, 好氧腐殖化污泥处理利用率逐年提高, 其利用率约为 30%, 资源转化率约为 60%, 可使有害物质比例降低至 3% 左右。主要赋存条件为氧指数高于 50%、温度为 100~70℃、C/N 比为 1: 3、含水率大于 75%, 目前的难点主要为发酵成熟度的判定困难。二者兼有。结果充分证明人们越来越认识到好氧腐殖化在市政污泥处理过程中的重要性。其中, 好氧腐殖化有利于提高资源利用率、减少有害物质的排放。利用比例不高, 主要存在技术问题和污物分类问题。

关键词: 好氧消化; 市政污泥处理; 污泥腐殖化; 污泥资源化利用

Humic Mechanism and Resource of Municipal Sludge Based on Aerobic Digestion

HaoTian Wang

Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: At present, the reasonable disposal and control of municipal sludge in China has just started, and the treatment method is still relatively backward, which is more likely to cause secondary pollution. Therefore, the use of sludge batch aerobic humification treatment is a relatively advanced technology worth carrying out Promotion. It is also very urgent to recycle municipal sludge. This article aims to study the working mechanism of municipal sludge humification based on aerobic digestion and its resource research. This article uses a variety of survey methods to investigate and compare the sludge treatment methods of a city for 5 consecutive years and compare their resource utilization rates; the frequency and current use of aerobic humification sludge treatment methods at 3 major municipal sludge treatment plants in a province Existing difficulties; literature analysis summarizes the mechanism of aerobic digestion of municipal sludge humification method; resource conversion of aerobic humification sludge treatment method of three major municipal sludge treatment plants in a province is obtained in four aspects in conclusion. The

Copyright © 2023 by author(s) and Upubscience Publisher.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution international License (CC By 4.0)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS

文章引用: 王昊天. 基于好氧消化的城市污泥腐殖化机理及资源化[J]. 生命科学进展, 2023, 1(1): 1-6.
DOI:

results show that the use ratio of aerobic humic sludge treatment is increasing year by year, and its use ratio is about 30%, and the resource conversion rate is about 60%, which can reduce the proportion of harmful substances to about 3%. The main occurrence conditions are the oxygen index is higher than 50%, the temperature is 100-70 degrees, the C / N ratio is 1: 3, and the water content is greater than 75%. The current difficulty is mainly the difficulty in determining the degree of fermentation maturity. Both. The results fully prove that people are more and more aware of the importance of aerobic humus in the municipal sludge treatment process. Among them, aerobic humus is conducive to improving resource utilization and reducing emissions of harmful substances. The proportion of use is not high, and there are mainly technical problems and dirt classification problems.

Keywords: Aerobic digestion; Municipal sludge treatment; Sludge humification; Sludge recycling

城市污泥处理主要采用欧美先进技术：污泥批量腐殖化处理。该技术的主要技术手段是通过种植一些特定的植物，帮助形成某些类型的土壤生态环境，通过微观和宏观生物的代谢作用，形成有机质的分解过程。在这个过程中，污泥中的水分被部分去除，有机质大量降解，病原菌和寄生虫的数量也大大减少，这个过程可以看作是堆肥腐殖化阶段的过程。当地表植被充分成熟，第一层污泥完全腐殖化后，将待处理的第二层污泥填埋在处理场地内，然后进行第二部分处理。这样，一些有害物质被逐步缓解，从而达到污泥的最终净化，大量的有害物质被降解。目前，世界各地已建成十几座大型处理厂，并取得了成功。经过十余年的实践探索，植草间歇式腐殖化污泥处理技术已经非常成熟，可以广泛推广，对我国十分有利。

随着现代人们对保护人类生存环境的关注以及社会进步和环境保护意识的提高，越来越多的工业污泥处理废水开始得到处理。结合大量的行业信息分析数据，我们可以预测多年后污水处理厂年均污泥产量将可能首次达到 6000 万吨/年，而废水污泥是这一过程中不可避免的自然产物[1]。如果不能对工业污泥进行高效、综合治理，必然会对经济社会的健康和谐发展构成一定的社会威胁。郑州城镇污水污泥处理厂产生的废水污泥整体含水量及主要有机物含量较高，有机部分可能含有各种有害细菌、病毒及各类寄生虫，易腐烂变质、产生恶臭；污泥中还可能含有大量的铜、锌、铅和镉等重金属化合物，若不及时妥善处理，会对环境造成严重的二次污染。因此，解决社区污水池污泥污染问题迫在眉睫[2]。Rossi G 等学者研究发现，污泥中的有机成分在农用土壤中有利于减缓土壤有机碳的流失，在某些情况下还能改善土壤的物理机械性质。污泥中重金属含量是制约污泥农用化的主要因素之一。从长远来看，农用污泥的施用会增加土壤中重金属(总有效成分和生物有效成分)的浓度。Rossi G 等学者的研究目的是评价不同处理方式的污泥中期施肥对土壤有机碳含量和腐殖化-矿化过程的影响、对土壤物理机械性质的影响以及其对生物可利用重金属库的潜在影响，以评估其作为有机土壤改良剂的有效性。结果表明，经过 8 年的污泥管理，所有分析的重金属中生物可利用形式的浓度都有所增加，且与污泥种类无关。污泥处理形式（液态、脱水、堆肥）对土壤腐殖化-矿化过程及土壤物理机械性质有不同的影响。长期堆肥污泥改良有利于维持土壤腐殖化-矿化过程的平衡，改善处理后土壤的物理机械质量[3]。Tang J 等学者的实验目的是提高效率，降低重金属的迁移率，优化了浓度、接触时间、液固比、pH 值等淋洗条件。对重金属的解吸性能进行了严格的研究，唐建等学者研究了重金属的连续洗涤步骤以及重金属的活化，结果表明重金属总量及组分均达到了显著的提取效率。

三次洗涤后，Cr 的提取效率最高（65.00%），交换率最高（85.00%）。此外，还研究了重金属的结合强度和迁移率。结果表明，洗涤后重金属的结合强度（IR）有所提高，而皂素提取的弱组分降低了迁移率（MF）。毒性特征浸出过程（TCLP）表明，洗涤后污泥中重金属的组分相对稳定[4]。基于以上理论研究，本文旨在研究基于好氧消化的城市污泥腐殖化机理及资源化利用。本文通过多种调查方法发现，好氧腐殖化利用率逐年提高，其利用率在 30%左右，资源转化率在 60%左右，可使有害物质的比例降低到 3%左右，主要发生

条件是氧指数高于 50%，温度在 100-70℃，C/N 比为 1: 3，含水率大于 75%，以前的困难主要有发酵成熟度的判定困难、不可降解物质和污染物的分类不均等。充分证明人们越来越认识到好氧腐殖化在市政污泥处理过程中的重要性，其中好氧腐殖化有利于提高资源的利用率，减少有害物质的排放，但目前好氧腐殖化方法的使用比例还不高，主要存在技术问题和污物分类问题。

一、拟建方法

市政污水污泥处理中腐殖酸水消化主要用于氧化水消化处理，具有良好的经济效益。污水处理中的各种有机物及其与好氧厌氧菌生长产生的盐类和酶相互作用，发生生化化学反应。有机物及其盐类如碳、氮、磷、硫等化学元素被细菌转化或被酶氧化，生成二氧化碳、氨、亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐等盐类，其中一部分被合成为新的原生质体，可为好氧菌的正常生长繁殖提供大量的营养物质和矿物质。它一般适用于一些有机物排放浓度不太高的工业废水，但必须注意补充足够的有机氧，以保证某些生物在氧化反应过程中对有机氧有一定的需求。首先，我们要考虑种植一些特定的野生植物，它们可以有效地帮助人类形成一些类似于土壤类型的生态环境。生物微观和化学宏观上微生物的代谢和微生物的光合作用，形成了一些重要有机物质的脱水、分解和去除的过程，在这个分解过程中，土壤污泥中的大量水分被大量分解去除，有机物得到部分降解，病原菌和其他寄生害虫的数量大大减少，这个过程可以看作是堆肥的腐殖化阶段。当表面植被充分成熟，第一层污泥完全腐殖化之后，就代表着它的完成。将第二层待处理的污泥填入处理场地，然后进行第二部分处理。

污泥好氧消化包括常温好氧消化和高温好氧消化（50~60℃）两种类型。高温好氧消化技术因其良好的杀菌消毒效果，得到越来越多的研究和应用。常用的污泥好氧消化工艺有以下三种：延迟曝气法、单独污泥好氧消化和高温好氧消化。前两种方法中，延迟曝气法需大量增加曝气池容积，导致污水厂能耗急剧上升，一般认为仅限于小型污水厂使用，一些国家的大型污水处理厂也有采用该工艺技术，但从整体效果来看，难以真正保证污泥的稳定性。单独污泥好氧消化也仅限于小型污水处理厂使用。但采用高温好氧消化可以基本杀灭病原菌，而且污泥中有机物的降解效率也较高，因此可以达到较高的污泥稳定性，值得推广。

污泥腐殖化处理技术区别于其他污泥处理技术的特点在于：

- (1) 处理过程中无需消耗任何机械设备、能源、电力和任何化学药剂；
- (2) 处理后的污泥无恶臭味，外观与富含腐殖质的土壤相似；
- (3) 整个处理过程完全是一个二次绿色生态环保处理过程，整个处理过程及所用产品不会对任何环境资源造成二次污染；
- (4) 富含腐殖质的产品——污泥可用于园林绿化、农业种植和施肥，不仅解决了大量污泥的堆放问题，而且实现了废物利用，变废为宝，对生态保护十分有利。

稳定化污泥处理处置成本较大，约占配套污水稳定化处理厂全部运行投资的 30%~40%。因此，受国际资金数额和投资能力的限制，我国目前配套污泥稳定化处理和污水处理的先进技术才刚刚起步。目前，我国现有的配套污水处理处置设施中，仅配套污泥稳定化的污水处理处置设施远远不到我国总量的 1/4。污泥的处理方式主要有以下几种：首先将污泥用水消化后脱水处理，然后将污泥运往填埋场或者明火焚烧处理。虽然污泥的长期填埋处理比较方便、经济，但同时不可避免的需要长期占用大量的地下土地，而且污泥填埋场中的一些天然有害物质也会进入地下土壤，污泥会产生我们地下土壤环境的有害物质。诸多环境危害为我们未来农业的生存和发展埋下了诸多隐患。其次，污泥焚烧会严重浪费土壤污泥中一些可以回收再利用的物质资源，增加了对我国地下水土壤造成严重污染的潜在安全风险。高废污泥焚烧虽然可以有效解决大量焚烧污泥不能合理堆放的环境问题，但是焚烧污泥排出的大量白色有毒、有臭味的有机气体一旦排入室内大气，将造成严重的大气环境

水质污染。相反,可能会更加严重地恶化我们的自然生态环境。这样一来,就得不偿失了。如何妥善处理城市污泥,并将其作为新资源利用,已成为环保界高度关注的话题,并存在着许多重要的问题。因此,将欧洲先进的污泥处理经验引入国内,对于推动国内污泥处理技术的发展具有现实意义。污泥间歇腐殖化处理技术就是其中的典型代表。该技术也可以看作是对我国污泥处理的一种技术支持,弥补了我国的一些技术空白,也将在我国未来的发展中发挥关键作用。

污泥由多种物质组成,因此检测也会因物质的不同而采用不同的种类和不同的方式,包括理化指标检测、工业分析、元素分析、污染物监测和生物检测。并且根据其未来的专业用途,将有不同的检测指标和评价标准,并且有专门的检测指标进行检测。因此,必须根据其用途、使用情况和标准进行处理和加工。

近年来,随着我国经济的快速健康发展和人口的快速增长,我国城镇大型污水污泥处理厂(以下简称污水污泥厂)产生的特种污水污泥年产量快速增长。作为一种可能对环境产生巨大污染和危害的污水废弃物,如何妥善处理处置污水中的污泥已逐渐成为公众十分关注的环境安全问题。下面我将对库区污泥利用的现状作一简要而深入的概述。

首先,污水污泥的综合产量主要取决于城镇水泥和污水综合处理厂的水泥和污水综合处理量,而直接影响城镇水泥和污水综合处理厂产量的主要因素还有很多,包括国民经济发展能力、流动人口等诸多因素。近年来,我国已全面进入现代化工业化和新型城镇化快速发展的关键阶段,经济社会发展能力水平初步得到较大提升。据世界银行统计,我国人均 GDP 近几年年均经济增长率已达 9.88%。同时,随着我国新型城镇化建设进程的不断推进,城市常住人口总量及其占我国总人口的比重也逐年上升。目前,我国全市常住人口已达 8.62 亿,约占我国总人口的 63.6%,且这一人口比重每年仍将以 2% 的速度增长。据统计,2010 年至 2017 年,我国城镇年均污水污泥排放量、年均城镇污水污泥处理量、年均城镇污水处理率及城镇污泥处理产量,其中黄河干流污水污泥处理产量是按照中国城镇污水处理年均固化系数 0.02% 计算得出的。对我国城镇污水污泥处理厂建设过程中污泥质量的统计分析,结果显示,大多数大型污水污泥处理厂主要采用水泥浓水、脱水等方法快速处理大量污泥,但实际采用稳定化学方法处理的水泥污水量在处理厂中仅占不到 20%。大多数大型污水污泥处理厂的污泥、污水处理没有完全到位或将在很大程度上直接影响到污水污泥的最终有效处置。

二、实验

城市污泥是城市污水好氧处理过程中产生的副产物。在细菌胶束的吸附作用下,污泥中富含大量有机物、重金属和病原微生物等有毒有害物质。未经处理的污泥直接暴露会对水环境、大气和土壤造成严重污染,危害周边居民的健康,甚至可能引发严重的环境污染事件。我国污泥处理配套设施不完善,且忽视了污泥处理的严肃性。污泥富含植物生长所需的 N、P、K 等营养元素,通过堆肥处理可以有效杀灭病原微生物,稳定重金属,降低污染有机物的浓度,可用于园林绿化,有效补充土壤的有机质。

- (1) 通过数据,调查某城市连续 5 年的污泥处理方式,并比较其资源化利用率;
- (2) 调研某省 3 家主要城市污泥处理厂基于好氧消化的城市污泥腐殖化工艺的应用频率及难点;
- (3) 通过文献资料及相关行业人员分析,总结城市污泥腐殖化工艺好氧消化的机理;
- (4) 调研某省 3 家主要城市污泥处理厂基于好氧消化的城市污泥腐殖化工艺的资源化转化情况。

首先采用重铬酸钾氧化法测定有机碳,然后分组测定腐殖酸。

称取 2.0g (精确至 0.0001g) 污泥及一堆已通过本项目 60 目筛的腐蚀样品,过筛后放入 50ml 离心管中,加入 40ml 0.1mol/L $\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$ 和 0.1mol/L NaOH 提取混合物,常温振荡 16h (150rpm),静置后离心 20min (4000rpm),以 0.45 μm 混合纤维为滤膜过滤,反复均匀提取数次,直至样品提取液颜色接近透明无色。收

集滤液，用 2mol/L HCl 水力调节剂稳定 pH 值至 6.0，即为滤液中活性腐植酸组分（HS）。取上述两种腐植酸钠溶液 20ml 于小烧杯中，逐滴加入 2mol/L HCl 水，直至溶液出现酸性沉淀，转移至干净的盐酸离心管中，离心 20min（4000rpm），上清液为黄腐酸的碱性组分（FA），沉淀为腐植酸的酸性组分（HA）。将上述三氯铝酸钠沉淀重新离心，溶于 0.1mol/L NaOH 水溶液中。离心后除去不定值溶解物，再加入定量的 2mol/L HCl 溶液调 pH 至 6.0。离心后弃去上述澄清液，沉降后留水备用。各原子组分碳含量一般采用以重铬酸钾为基准的过氧化物脱碳法测定，以 0.1g/kg 计算。

然后采用彩色紫外光谱依次扫描：在 AATU1810PC 紫外可调色内光聚合物激光紫外光度计上依次进行光谱测定，扫描测光范围一般为 200~700nm，样品的平均质量辐射浓度为 100mg/l。根据无线光谱分析数据，计算不同特征紫外线吸收光谱系数与 E465/E665 的比值。红外光谱仪测定：采用傅里叶变换法红外光谱仪进行红外扫描，将 1mg 冻干测试材料样品与 400mg 干燥的 pakbrc 及其他材料研磨后混合均匀，在 20-30MPa 压力下压制成白色薄片，扫描厚度范围一般为 4000-400cm⁻¹。

三、讨论

通过调查某市连续五年污泥处理方式及有效资源转化率的变化情况，实验结果表明，随着资源日益紧缺，政府对污泥进行大力调控和控制，卫生填埋和自然风干方式的使用量逐年减少，而好氧腐殖化方式的使用量逐年增加。同时，未处理污泥的比例也呈现逐年明显的下降趋势。与此表现相符的是，其资源转化率却在逐年提高，这充分证明了人们越来越意识到正确处理城市污泥的重要性。

调查某省 A、B、C 三家主要城市污泥处理厂，探讨城市污泥好氧消化腐殖化方式的使用频率及其目前应用的难点。结果表明，三大城市污泥处理厂采用的好氧腐殖化方法的比例均在 30% 左右。目前好氧腐殖化方法应用的难点主要为发酵腐熟度难以确定，污物不可降解及分类不均匀各占 50% 左右，充分说明目前好氧腐殖化方法应用比例不高，主要存在技术问题和污物分类问题。

通过文献调研发现，目前我国主要的污泥处理工艺包括填埋、焚烧、好氧腐殖化和厌氧消化。其中，好氧腐殖化是目前我国最适宜的污泥处置方法之一。该工艺通过微生物的作用，将污泥中的大分子有机物分解，从而实现污泥的无害化和稳定化。污泥好氧腐殖化过程主要通过各种微生物（包括细菌、放线菌、真菌和原生生物）的活动来分解有机物。因此，为了保证微生物的生命活动，需要研究和控制腐殖化过程的重要参数。调查结果表明，好氧腐殖化的主要条件为：氧指数高于 50%，温度为 100-70℃，C/N 比为 1:3，含水率大于 75%，并适量投加调理剂。

调查某省 A、B、C 三家主要城市污泥处理厂。

基于好氧消化的腐殖质法城市污泥的资源转化情况，结果表明，当好氧腐殖质利用率约为 30% 时，资源转化率约为 60%，有害物质占比低于 3% 左右。充分证明了好氧腐殖质有利于提高资源利用率，减少有害物质的排放。

四、结论

随着现代人对人类生存环境保护的关注以及社会进步和环保意识的提高，这也促使越来越多的污泥需要处理，而污泥中含有大量的有机物、重金属、病原微生物等有毒有害物质。未经处理的污泥直接暴露会对水环境、大气和土壤造成严重污染，危害周边居民的健康，甚至可能引发严重的环境污染事件。我国污泥处理配套设施不完善，且忽视了污泥处理的严肃性。污泥富含植物生长所需的 N、P、K 等营养元素，通过堆肥处理，可以有效杀灭病原微生物，实现重金属的稳定化，并降低污染有机物的浓度，应用于园林绿化，可以有效补充土壤的有机质。本文通过多种调研方法及文献资料，对城市污泥好氧消化腐殖化处理机理及资源化利用进行了总结

分析。研究表明,好氧腐殖化法的使用量逐年增加,同时未处理污泥的比例也呈现逐年明显下降的趋势,与此表现相符的是,其资源转化率逐年提高。目前好氧腐殖化法应用的难点主要有发酵成熟度判定困难、不可降解污泥及污物分类不均匀;好氧腐殖化有利于提高资源利用率,减少有害物质的排放。

本文对某城市 5 年的污泥处理方法进行了调研,并通过数据对其资源化利用率进行了比较;调查了某省 3 家主要城市污泥处理厂基于好氧消化腐殖化法的城市污泥使用频率及目前面临的困难;通过文献资料和相关行业人员的分析,总结城市污泥好氧消化腐殖化的机理;调研某省 3 家主要城市污泥处理厂的好氧腐殖法污泥处理情况,从好氧腐殖法的资源化转化四个方面进行调查总结。研究表明,卫生填埋法和自然风干法的使用量逐年减少,而好氧腐殖法的使用量逐年增加,同时,未处理污泥的比例也呈现逐年明显的下降趋势。与此表现相符的是,其资源转化率逐年提高。目前好氧腐殖法应用的难点主要为发酵成熟度难以确定,约占 50%,不可降解和污物分类不均匀各占 25%左右。文献总结,好氧腐殖质的适宜条件为:氧指数高于 50%,温度在 100~70℃之间,C/N 比为 1:3,含水量大于 75%,并适当添加调理剂。当好氧腐殖质利用率为 30%左右时,资源转化率在 60%左右,有害物质占比低于 3%左右。充分证明了好氧腐殖质有利于提高资源利用率,减少有害物质的产生。(3)综上所述,好氧腐殖质的利用率逐年提高,目前其利用率在 30%左右,资源转化率在 60%左右,可使有害物质的比例降低到 3%左右。主要赋存条件为含氧指数高于 50%,温度 100-70℃,C/N 比 1: 3,含水率大于 75%,以前的难点主要为发酵成熟度判定困难,不可降解物及污物分类不均匀。充分证明人们越来越认识到好氧腐殖质在市政污泥处理过程中的重要性。其中,好氧腐殖质有利于提高资源的利用率,减少有害物质的排放,但目前采用好氧腐殖质方法的比例还不高,主要存在技术问题和污物分类问题。

参考文献

- [1] 胡君. 海洋天然产物. 天然产物报告, 2018, 35(1): 8–53.
- [2] 马媛媛. 从污染物到废水污染解决方案: 利用纺织污泥合成用于染料吸附的活性炭. 中国化学工程学报, 2018, 26(4): 870–878.
- [3] 张章. 胞外聚合物对好氧污泥厌氧污泥和硫酸盐还原菌污泥系统中环丙沙星吸附的影响. 环境科学与技术, 2018, 52(11): 6476–6486.
- [4] 代云. 黑色素瘤前哨淋巴结转移的完成解剖或观察. 新英格兰医学杂志, 2017, 376(23): 2211–2222.