

城镇污水处理厂污泥减量化及无害化处理技术研究

邢 力

中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730030

摘 要：污泥作为污水处理厂的副产物，成分复杂且含有大量微生物、有机物、重金属及病原体，若处置不当极易引发二次污染，实现对污泥的减量化及无害化处理可更好地保护生态环境与居民健康，推进城镇化进程。基于此，本文围绕城镇污水处理厂污泥处理，先分析了减量化与无害化处理技术的应用原理、适用场景等，后提出针对性优化建议，以期进一步提高污水处理厂污泥减量化及无害化处理技术选用的科学性、高效性、经济性，达到更好的处理效果，为城镇污水处理厂的可持续建设发展提供推力。

关键词：城镇；污水处理厂；污泥减量化；无害化处理技术

引言：随着我国经济的飞速发展，城镇化水平不断提高，城市生活污水处理飞速发展，导致污水处理的“衍生品”——污泥的产量每年大幅度增长，但我国污水处理厂实际处理时存在“重水轻泥”现象，使得污泥处理不规范、不高效，容易积压大量污泥^[1]。这种情况下随意堆放或简易填埋的污泥不仅占用大量土地资源，还会对周边土壤环境、地下水水质等造成污染。所以现阶段城镇污水处理厂应加大对污泥处理的重视度，能够结合实际情况合理选择和高效应用污泥减量化及无害化处理技术，切实提升污泥处理水平，进一步降低处理成本、保护生态环境、节约资源。

1 城镇污水处理厂污泥减量化处理技术

1.1 生物减量化技术

1.1.1 厌氧消化技术

在无氧环境下，利用兼性菌、厌氧菌之间的生化反应，将污泥中存在的有机物质分解，进而产生沼气等可被利用的资源，实现污泥减量和稳定化的一种技术^[2]。具体来说，厌氧消化技术分为水解酸化、产氢产乙酸、产甲烷三个环节，通过厌氧消化后污泥中的有机物质含量减少，体积下降 30-50%，且还能将部分病原菌杀灭，回收沼气作为能源。该技术前期设备投资成本较高，更适用于大型污水处理厂，使用该技术需要等待较长的反应周期，同时技术应用时对温度、pH 值等参数要求较高。

1.1.2 好氧消化技术

好氧消化主要通过向污泥中持续通入空气，利用好氧微生物的内源呼吸作用，分解污泥中的有机细胞和有

机质，转化为稳定性比较好的腐殖质，也能让污泥得到减量和稳定^[3]。该技术整体操作相对简单，设备方面也无需投入较多成本，更适用于中小型污水处理厂，但其整体污泥减量效果不如厌氧消化，且无法回收能源。

1.1.3 微生物破解技术

微生物破解主要指向污泥中投入特定功能的微生物，对污泥菌体细胞结构进行破坏，释放细胞内有机质，再通过微生物代谢的方式进行分解，达到污泥减量的目的^[4]。该技术的反应条件较为温和，使用该技术降低污泥产生量不会产生有毒有害物质，且整体减量效果较好，无需耗费较高成本。但当前该技术还处于研发优化阶段，微生物菌种的适应能力、稳定能力等性能还需进一步改进提升，目前未进行大规模应用。

1.2 物理减量化技术

1.2.1 机械脱水技术

通过机械脱水技术可将污泥含水率降至 80% 左右，主要使用专业的脱水设备对污泥施加压力，进而将污泥中的毛细水、间隙水进行去除。当前污水处理厂所使用的专业脱水设备多数为带式压滤机、离心脱水机等。该技术操作便捷，成本在可控范围内，对污泥的处理效果较好，是污泥预处理的重要工艺。但该技术也有一定缺点，其只能将污泥中的游离水去除，无法将污泥中的结合水去除，难以达到更高的减量程度，同时使用该技术处理后的污泥还需进行无害化处理。

1.2.2 热干化技术

热干化法处理污泥，可将污泥含水率降至 10-40%，可有效实现污泥深度减量化，主要通过加热蒸发水分的

方式进行处理。运用该技术能够通过高温杀灭大部分病原菌,实现对污泥的初步无害化处理,当前加热方式主要有导热干化、微波干化、热风干化等,不同方式对应不同的特点,其中热风干化整体应用较为广泛,采用的设备主要有带式干化机、流化床干化机等,但设备投资成本较高,且使用过程中会产生较高能耗,同时干化还易产生恶臭气体。

1.2.3 超声波破解技术

该技术主要利用超声波产生的空化效应破解污泥絮体和细胞结构,释放细胞内水分和有机质,这样既能实现物理减量,又能提高污泥脱水性能,为后续生物处理工艺的实施提供有利条件^[5]。超声波破解过程中不会出现化学药剂残留问题,不会造成二次污染,同时整体处理效率较高,可达到较好的污泥减量效果。但该技术同样存在成本高、设备能耗高等缺点,污水处理厂处理污泥时可将该技术与其他技术结合运用。

1.3 化学减量化技术

化学减量化技术主要将合适的化学药剂投入到污泥中,通过化学反应破坏污泥原有的结构,进而改善脱水性能或分解有机物,以达到污泥减量的处理目的。目前常用的化学药剂主要有调理剂、氧化剂、混凝剂等,不同化学药剂具有不同的功能特性,其中像调理剂和混凝剂来说,其可将污泥颗粒有效凝聚,释放结合水,能够进一步提高机械脱水效果,实现污泥减量。像氧化剂来说,其可通过氧化分解污泥中的有机物,达到降低污泥产量的效果。化学减量化技术整体应用效果较好,但部分化学药剂存在一定的腐蚀性,在使用期间可能会对设备造成损坏,缩短设备的使用寿命,影响设备的运行安全,同时若化学药剂的类型、投入剂量等选择不正确,还会引发二次污染,造成更严重的后果,需要污水处理厂加大重视,严格控制药剂投加量和反应条件。

2 城镇污水处理厂污泥无害化处理技术

2.1 污泥稳定化处理技术

污泥稳定化处理主要借助生物、物理、化学手段,将污泥中的易腐败有机物进行降解,并杀灭污泥中含有的病原菌,让污泥性质更加稳定,是城镇污水处理厂污泥无害化处理中最为基础的技术^[6]。比如采取生物稳定化处理,包括厌氧消化和好氧发酵。如针对好氧发酵来说,主要将脱水后的污泥与木屑等材料进行混合,在一定的温湿度及通风条件下让好氧微生物发酵,降解有机物,发酵期间温度 $> 55^{\circ}\text{C}$,可杀灭大多数病原菌与寄生虫卵。运用该方法可对污泥进行初步无害化,且处

理后的污泥还可用于园林绿化,但若所需处理的污泥中重金属超标,则无法使用该方法。比如采取化学稳定化处理,主要采用石灰稳定法,根据污泥处理量和实际要求,加入一定比例的生石灰,搅拌均匀,通过生石灰与水反应释放热量,提高污泥温度,达到杀灭病原菌的效果,同时还能提高污泥 pH 值,抑制微生物活动,固化污泥中的重金属^[7]。该方法难以实现长期稳定,更多适用于应急处理,且该方法需添加生石灰,会增加污泥重量,处理后的污泥难以资源化利用。

2.2 污泥焚烧技术

污泥无害化处理中该技术的处理最为彻底,主要将脱水后的污泥经干化预处理后,投入高温焚烧炉进行燃烧,将污泥中有机物完全氧化,而重金属等有害物质被固化在灰渣中,且高温可彻底杀灭病原菌。污泥焚烧技术操作简单,处理速度快,减量化及无害化效果均较好,在焚烧期间还可回收热能用于发电、供暖等,实现能源的回收利用。但该技术也存在一定劣势,前期设备投入资金较多,运行能耗偏高,在实际焚烧过程中会产生氮氧化物、二恶英、二氧化硫等有害气体,需要配置尾气处理系统,才能在保证处理效果的同时不会污染环境,更多适用于大型污水处理厂。

2.3 重金属固化稳定化技术

重金属具有毒性强、难降解、易迁移等特点,污泥中的重金属在未得到有效处理的情况下若不慎进入环境,则会引发长期污染,不仅破坏环境,还会危害周边居民身体健康^[8]。重金属固化稳定化技术主要通过物理包裹、化学反应等方式,让重金属固化,不易迁移,毒性降低。其中物理包裹固化主要在污泥中加入沥青、水泥等固化剂,重金属被包裹在固化体中可防止其迁移。化学反应固定主要在污泥中加入硫化物、磷酸盐等稳定剂,通过化学反应产生难溶性化合物。该技术对固定重金属有较好的效果,但无法去除重金属,更适用于重金属含量较高的污泥无害化处理。

2.4 污泥土地改良技术

污泥土地改良技术主要通过对污泥进行无害化处理,形成土壤改良剂、化肥等,用于农田、园林绿化、公园建设、土壤修复等领域,以达到无害化处理目的,又可利用污泥中的有机质和营养元素改良土壤结构^[9]。主要采取的方式包括厌氧消化、好氧发酵等,但需确保无害化处理后的污泥中重金属、病原菌等相关含量符合国家相关标准,这样才能在有效利用污泥的同时不污染土壤、农作物等。

3 城镇污水处理厂污泥减量化及无害化处理技术的优化建议

3.1 多技术组合运用

单一技术应用存在局限性,且无法达到较好的污泥减量化、无害化处理效果,所以城镇污水处理厂可根据污泥处理需求和实际情况,选择多技术组合运用的方式。如对于运行成本有限的中小型污水处理厂来说,可选择“机械脱水+厌氧消化+好氧发酵”的多技术组合方式,先借助机械脱水初步减量,再使用厌氧消化深度减量和回收能源,后借助好氧发酵完成无害化处理。对于资金充足的大型污水处理厂来说,可选择“热干化技术+焚烧技术”的多技术组合方式,配备专业设备,实现污泥最大化减量和彻底无害化。

3.2 优化源头减量工艺

城镇污水处理厂应从污水处理源头控制污泥产生量,以进一步实现污泥减量化的目的。如污水处理厂可使用生物除磷脱氮一体化等先进工艺进行污水处理,大幅度减少剩余污泥的排放量。研发投入高效功能菌,如芽孢杆菌、假单胞菌等,提升微生物对有机物的降解效率,这样也能有效减少污泥产量。优化预处理环节的设备运行参数,如格栅环节采用栅隙 $\leq 1\text{mm}$ 的超细格栅、沉沙池选用曝气沉砂池、初沉池水力停留时间延长至2h左右等,这些工艺设备的优化改进可减少污水中悬浮物、重金属等物质进入污泥,不仅可减少污泥产量,还能降低后续污泥处理难度。

3.3 降低技术处理成本

目前很多污泥减量化及无害化处理技术的应用效果较好,但技术处理成本较高,很多中小型污水处理厂难以引进此类技术及相关设备。所以还需进一步针对降低技术处理成本问题采取有效措施,如由政府部门制定相应的补贴政策,给予污水处理厂资金支持,让更多污水处理厂能够引进先进的技术设备;推动污泥处理副产品资源化利用,通过将无害化污泥用于园林绿化、土壤改良等方式获得相应的收益,进而弥补处理成本。

3.4 研发推广新技术

推动污水事业朝着绿色化、可持续化方向建设发展,还应积极研发应用更多新型的处理技术,如研发

微生物减量、低温干化、太阳能污泥干化、资源化利用等新技术;研发更多创新型化学或生物制剂,提高脱水效率和减量化处理效果等。同时,也应建立技术示范工程,组建技术人才队伍,加大对新型技术的推广力度,让更多污水处理厂了解技术的应用优势,不断提高应用效果。

结语: 综上所述,城镇污水处理厂污泥减量化与无害化处理是生态环境保护和城市可持续发展的必然要求。所以城镇污水处理厂应加强重视污泥处理环节,能够充分了解和掌握污泥减量化技术与无害化处理技术的类型、应用要点等。同时,现阶段及未来发展中还应结合污水处理厂实际情况,做好多技术组合运用、加强源头控制、降低技术处理成本、研发推广新技术等相关工作,进一步解决污泥处理过程中存在的问题,让污泥得到有效处理和高效利用,助力城镇生态环境质量持续提升。

参考文献

- [1] 蒋雪芳,张梦迪. 污水处理厂污泥减量化与资源化利用途径探究[J]. 皮革制作与环保科技,2025,6(13):138-140.
- [2] 温会涛. 污水处理厂污泥减量与资源化利用技术综述[J]. 石化技术,2025,32(9):352-354.
- [3] 宋艳会,李兵,杨培君,等. 污水处理厂污泥减量化技术的探讨[J]. 当代化工,2020,49(11):2570-2573,2578.
- [4] 姜欣彤,毕东苏. 污水处理厂脱水污泥有机污染物含量调查及处置方式评估[J]. 应用技术学报,2022,22(4):326-329.
- [5] 梁嘉立,罗汉富,韦翔,等. 污水处理厂污泥减量化技术及适用性分析[J]. 科海故事博览,2023(10):55-57.
- [6] 朱赛,陈永坤,王卫刚,等. 城市排水管网污泥减量化处理技术研究——以芜湖市城东污水处理厂为例[J]. 资源节约与环保,2021(4):146-148.
- [7] 王宗华,张怡文,申向禹,等. 城市污水处理厂污泥的无害化、资源化处置[J]. 发明与创新·职业教育,2021(5):177-178.
- [8] 崔岩. 城镇污水处理厂污泥处理处置技术路线选择的思考[J]. 建设科技,2024(17):51-53.
- [9] 王晨瑾. 城镇污水处理厂污泥资源化利用技术[J]. 清洗世界,2023,39(12):121-123.