



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20140137

城市污水处理厂污泥处置的现状与研究进展

王学魁, 赵斌, 张爱群, 沙作良

(天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 随着中国经济和城镇化的迅速发展,城市污水处理量大幅增加,污水处理厂产生的污泥也随之增长.由于污水厂污泥产量增长迅速、成分复杂等特点,若处理不当,不仅会对环境造成二次污染,同时也是对污泥中所含营养资源的一种浪费.不同的国家根据本国的国情对污泥处置的方法各有不同的特点和侧重.本文对各国污水处理厂污泥处理的现状进行了比较和分析.同时对世界各国污泥处理的研究及最新进展工作进行了梳理和介绍,特别着重介绍了厌氧消化技术与其他技术结合处置城市污泥研究进展和技术创新.同时结合国内实际,指出了污泥处理的发展趋向.

关键词: 污泥处置; 污水处理; 厌氧消化

中图分类号: X701 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2015)04-0001-07

The Present Situation and Research Progress of Treatment of Sludge from City Sewage Treatment Plant

WANG Xuekui, ZHAO Bin, ZHANG Aiqun, SHA Zuoliang

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: With the rapid development of China's economy and urbanization, the waste sludge discharged from city sewage treatment plant also has a rapid output growth. Because of the complex composition of the sludge, if treated improperly, it can cause not only second pollution to the environment, but also a waste of resources of nutrient components in the sludge. Different countries, according to their local conditions for sludge disposal, have different treatment methods with their own characteristics. In this paper, the present situation of sludge treatment is analyzed and different treatment methods are compared. At the same time the global wide study of sludge treatment process and the latest progress were reviewed and introduced, with a special attention being given to the combination of anaerobic digestion and other technology to the treatment and disposal of sludge. Taking into consideration the actual situation of sludge treatment in China, the authors pointed out the technological development trend of sludge treatment.

Key words: sludge treatment; sewage treatment; anaerobic digestion

随着我国经济的不断发展,城市的污水处理量与日俱增,污水处理厂产生的污泥也在急剧增加.如果这些污泥不经过恰当的处理就直接暴露在环境之中,不但会带来严重的二次污染,而且也对人类的健康造成了威胁.因此,污泥要经过减量化、稳定化、无害化的处理,进行进一步的处置,才能尽可能避免二次污染.

作为污水处理副产物的污泥,其成分复杂,除含

大量的水分外,还含有氮磷等营养元素、重金属、有机质.若把它们直接排放到环境当中,除了对环境造成危害,同时也是对营养资源的浪费.污泥直接暴露在环境当中,会带来以下影响:污泥中的病原体微生物、难降解有毒有机物、重金属会严重污染水体和土壤;污泥易腐败变质,如不经处理,在堆放过程中会产生恶臭气体,污染环境^[1-2].

随着全球人口的增加,资源不断被消耗,如何使

收稿日期: 2014-10-27; 修回日期: 2015-03-03

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金项目; 教育部科研创新团队培育计划项目([2013]373)

作者简介: 王学魁(1956—),男,河北人,教授; 通信作者: 张爱群,高级工程师, zhang2553@126.com.

数字出版日期: 2015-05-08; 数字出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/12.1355.N.20150508.1504.004.html>

剩余污泥变废为宝成为研究热点. 随着近年来技术的进步, 污泥不再是经简单处理后被丢弃的无用废物, 而是通过多种方式进行处理后成为可循环利用的资源.

1 国内污泥处置的现状

据统计^[3], 在 2008 年全国污水处理厂共 1 519 座, 处理废水量 6 699.8 万 m^3/d ; 到了 2014 年, 污水处理厂达到 3 622 座, 废水处理量达 1.53 亿 m^3/d . 处理污水的同时势必会产生大量的剩余污泥, 产量约为处理水体积的 0.15% ~ 1%. 剩余污泥的处置势必成为需要重点解决的问题. 在此, 将目前常见的污泥处置方法进行概述.

1.1 填埋法

国内对污泥进行处置最常见的方法是利用现有的城市生活卫生垃圾场进行填埋. 它具有投资较少、容量大、见效快的特点. 但是也有着明显的不足之处: 污泥中含有的有毒有害物质会以渗滤液和臭气的方式污染地下水和大气; 随着污水处理厂剩余污泥的大量产出, 可供污泥填埋的填埋场容积会越来越有限, 所以用地紧张的地方不宜使用; 高昂的运输费用也是制约污泥卫生填埋的一个重要问题. 污泥的卫生填埋并不能最终避免给环境带来污染, 而只是延缓了产生时间. 我国目前城市污水处理厂主要还是以卫生填埋为主, 占到了总比例的 63%^[4]. 随着土地资源的日益紧张, 固体废物填埋场选址变得越来越困难, 同时污泥填埋场渗滤液存在着泄漏的问题, 容易污染到地下水和土壤.

1.2 土地利用、堆肥

污泥的土地利用是污泥处理的一种有效方式. 剩余污泥中含有丰富的有机物和氮、磷、钾等营养元素和钙、镁、铜、铁、锌等微量元素, 它们有改善土壤结构、增加土壤肥力、促进植物生长的作用^[5]. 将污泥制成肥料加以利用具有能耗低、可回收利用污泥中营养物的优点. 最常见的方法是进行污泥堆肥, 即在微生物的作用下, 污泥高温发酵使其中的病原菌无害化、有机质分解, 把有机废物分解转化成类腐殖质. 为了减少对土壤的二次污染, 堆肥时通常加入稻草、木屑等作为调理剂和膨胀剂, 不仅能增加发酵的能源物质, 也对污泥中的重金属起稀释作用.

考虑到对土壤条件和食品安全的保护, 污泥作为肥料主要用于园林绿化领域和非粮食作物领域. 但

随着技术的进步, 为了充分利用剩余污泥中的营养物质, 将发酵处理过的污泥与尿素、磷酸一铵、氯化钾、过磷酸钙等按一定的比例混合, 增大混合物的 C/N 比, 使之成为复合肥料. 这种复合肥料已经用于粮食作物的生产实验, 其各项指标都符合国家标准. 因此, 污泥经过有效处理后作为肥料用于农业和园林绿化, 是一个很好的资源化污泥处置的方法, 有良好的发展前景.

1.3 焚烧法

城市中经脱水后污泥的成分主要是大量的有机物和一定量的纤维木质素, 污泥脱水后热值仍然比较高, 能够进行焚烧. 焚烧法的优点是污泥处置十分有效彻底, 可以使污泥实现最大程度的减量化. 焚烧过程是将污泥置入焚烧炉内, 在加入过量空气的情况下, 进行完全焚烧, 使有机物全部碳化, 最大限度地减少了污泥体积, 使污泥最终处置变得极为便利. 同时焚烧产生的热能可以作为能源加以利用.

污泥焚烧有 4 种方法: 利用垃圾焚烧炉焚烧污泥、利用现有工业用炉焚烧污泥、利用火力发电厂设备焚烧污泥、污泥单独焚烧. 焚烧法的主要问题是一次性投资大, 设备投资高, 运转费用高. 有机物燃烧温度如果低于 $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, 会产生二噁英等剧毒物质^[6]. 焚烧过程中产生的炉渣和烟气中含有的重金属和一些有毒有害物质可能会形成二次污染^[7].

1.4 污泥建材利用

污泥建材化是指利用污泥中的无机成分与建筑材料的成分相似的原理, 通过添加合适比例的高岭土、粉煤灰等固化物质及必要的辅料, 经过高温烧灼等无害化工艺制作成建筑材料而对污泥再次利用. 污泥可制成的建材有生态水泥、轻质陶粒、微晶玻璃、生化纤维板和空心砖等^[7]. 污泥制建材不但实现了有用物质的回收, 而且制造过程的工艺技术使有毒有害的重金属离子被固化在建材中, 从而使污泥对环境的影响达到最小化. 但是, 目前这项技术也存在一些工艺体系不完善的问题, 如生态水泥如果含氯量大, 会腐蚀钢筋; 板材成品可能有臭味, 强度也有待提高. 同时, 含有有毒有害物质很多的高浓度工业污水的污泥也很少采取建材化的方法进行处置.

1.5 污泥处置现状分析

目前, 我国在污泥处置方法的情况如图 1^[4]所示, 填埋和农用占据较大比例, 焚烧只占了相当小的比例^[8]. 污泥填埋和土地利用都存在一定的风险, 污泥中可能含有的大量重金属会在土壤表层累积, 不但对植物具有毒害作用, 而且还会对地下水造成污

染. 污泥中同时还含有较多的病原菌,它们通过各种途径造成环境污染. 污泥中也含有一些有毒有害的有机污染物,植物可经吸附作用对它们进行富集.

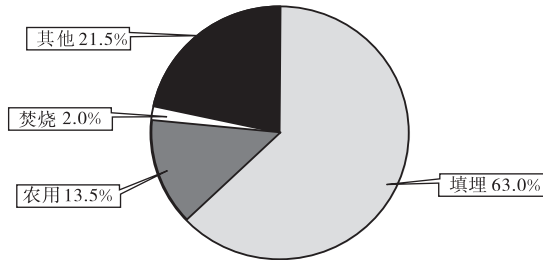


图1 中国处理剩余污泥各种方法所占的比例

Fig.1 Proportion of different residual sludge treatment methods in China

由于填埋会消耗大量的土地资源,产生大量的渗滤液,所以加剧了当地的污染;随着污泥产量的日益增多,污泥运输和填埋场地建设费也会越来越高. 因此,填埋法作为城市污水厂污泥的处置方法,应该逐渐减少其使用比例.

利用剩余污泥中含有的丰富有机物和氮、磷、钾等营养元素以及钙、镁、铜、铁、锌等微量元素,作为农业肥料以促进植物生长是污泥土地化利用方法的优势,有很好的发展前景,但是此法也存在污染土壤的风险. 因此,改进污泥的堆肥技术,利用生物厌氧发酵和其他技术降解污泥中的有毒有害物质,充分利用其含有的营养物质,实现污泥利用的资源化,对环境保护和变废为宝有积极的意义,是我国目前应积极发展的污泥处置方向之一. 需要注意的是,在污水处理的源头就要把生活污水和工业废水分开,尽量使用有毒有害物质较少的生活污水污泥,这样容易处理成可以达到使用标准的无害化农业有机肥料.

焚烧法是污泥处置减容量最高、处置最为彻底的一种方法,但是投资成本、运行成本和技术难度都较高,因此短期内我国还不会大力发展这种污泥处置方法.

污泥的建材利用是污泥资源化和无害化的一个发展方向,目前我国在这方面发展得还不够,工艺技术亟待提高. 由于这种方法不需要占用土地,同时使污泥得到有效利用,做到了污泥处置的无害化,因此在我国有光明的发展前景,应给予提倡.

2 国外污泥处置的现状

各国都把污泥的处置作为污水处理的一个重要

环节,不同国家和地区因地制宜地采取适合本国国情的污泥处置路线,主要考虑的因素有产业结构、土地资源、城市化程度等. 目前国外污泥的主要处理方式也主要是土地填埋、土地利用和焚烧技术. 根据本国的国情对污泥处置的方法各有不同的侧重点^[9]. 美国污泥处置的主要方式是土地利用,20世纪80年代前以填埋为主,土地利用约占42%,到了1998年土地利用急剧上升到59%^[10]. 美国和加拿大还在继续进行更深入的研究,对处理污泥过程中产生的二噁英、呋喃在污泥抗菌剂中的聚集、病原菌的再生、继续生长及处理过程中的臭气等疑难问题进行解决;拉丁美洲的污泥产量比较少,降低了处理的迫切性,目前正在用生产农业肥料的处理方法;日本和韩国土地面积较小,主要采用焚烧和热干化技术. 目前日本制定计划,决定将污泥无害化处理后,用于农业园林绿地肥料,或者污泥焚烧后将灰分制成固体砖或其他建筑材料,同时污泥焚烧还可用于发电供热. 韩国的污泥最后处理方式采用热干化和焚烧,使污泥的产量最小化. 同时他们正尝试把污泥作为蚯蚓饲料,使污泥的营养成分得到应用. 另外尝试用混凝剂和污泥混合物作为一种保护性地表层,这样有利于植被生长,并防止斜坡面过分的水土流失. 欧洲各国所采用的污泥处置方法差别很大,主要以填埋和农用为主. 瑞士、丹麦、英国、法国都是以农用为主;而卢森堡、爱尔兰及芬兰主要以填埋为主;澳大利亚和新西兰把有益的农田使用作为主要的污泥最终排放方式.

本文就德国和日本污泥处置方法通过图例进行了比较. 比较而言,德国堆肥后用于土地利用占到了污泥处置的一半以上,焚烧占到了将近四成(如图2^[11]). 日本的国土面积相对较小,但处理污泥的技术相对发达,所以焚烧占到了六成以上,还有三成多用于农用,其余的所占比例较少,日本的污泥处置方法如图3^[4]所示.

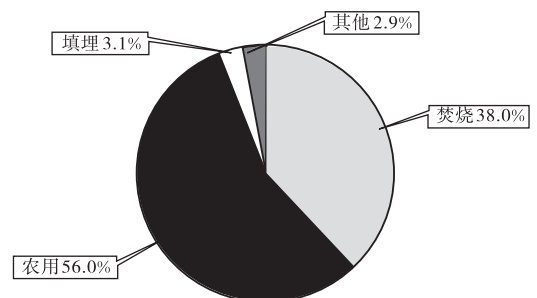


图2 德国剩余污泥处置的各方法比例分配图

Fig.2 Proportion of each sludge disposal method in Germany

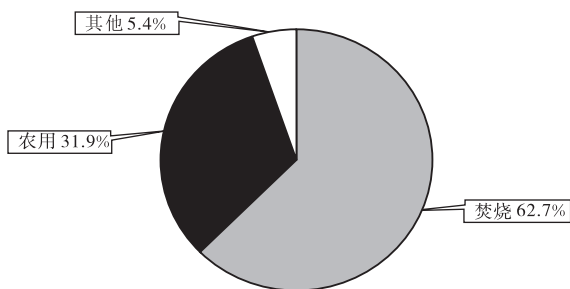


图3 日本剩余污泥处置各方法比例分配图

Fig. 3 Proportion of each sludge disposal method in Japan

3 研究进展

污水处理过程中产生的大量污泥的去除问题,在世界各地都是一个充满挑战的环境问题。目前在我国,以天津市为例,在污水进行常规的处理后(如 A-O 工艺, A-A-O 工艺),产生的污泥一般只经过脱水就被排放了。而实践证明,产生的污泥进行厌氧消化反应是降解有机质的最有效途径,该过程的产物甲烷是一种可利用的能源,可被用于厌氧消化反应的加热过程^[12]。经过厌氧消化过程,污泥量可减少 30%。可以说生物污泥的厌氧发酵反应是污水厂污泥减量化、资源化和无害化的前提。Zhou 等^[13]用厌氧消化池对固体废物和污泥进行了实验,发现能够产生可观的甲烷产量。与好氧反应相比,厌氧反应不需要进行曝气,能源消耗大大降低,剩余污泥的量比单纯好氧处理少,运行虽然复杂一些,但仍然是污泥减量化和无害化的有效手段。

厌氧反应过程当中也会遇到一些比较棘手的问题,如:有机物质降解反应速率慢,反应时间长等^[14]。而且,我国在进行厌氧处理过程中相比其他国家存在着以下问题:由于有机物的含量偏低,造成有机物厌氧消化分解率偏低,产气量偏低。由于厌氧消化过程当中水解是反应的限制步骤,污泥中大分子的有机物和细胞壁的存在是关键因素。剩余污泥的微生物细胞壁对细胞起着保护的作用,它是一种稳定的半刚性结构,细胞壁属于生物难降解惰性物质,细胞壁的破解较为困难,导致污泥反应需要很长时间。所以利用先进的预处理技术去除细胞壁,让内部的物质释放出来,将里面的大分子有机物降解成小分子物质,这样就能有效缩短反应周期,提高污泥的消化性能,提高反应速率。为此国内外学者^[15]对此进行了广泛的研究:研究成果有超声波预处理、热处理、加碱预处理、

臭氧氧化等方法。因此本文主要介绍污泥处置在这方面的研究进展。

3.1 物理方法处理工艺

3.1.1 超声波联合预处理剩余污泥

超声波法是利用超声波技术破坏污泥中的菌胶团和微生物的细胞壁,使细胞体内的有机物失去细胞壁的保护而更易被厌氧菌群利用,使厌氧反应更易进行,增加甲烷产量。He 等^[16]通过研究发现,超声处理的污泥的比例决定了能量的消耗和效率,从能量消耗的效率考虑,它的上限不应超过 30%,此时剩余污泥的减量是最大的,但能量消耗也是最大的。经过多次分析,最终发现超声处理污泥为 15%时,能量的效率是最高的。

如果用超声波结合化学调理剂,其效果优于它们单独作用的效果,不但使添加剂的用量减少,而且还减少了使用超声波带来的能量消耗。李玉瑛等^[17]对提高剩余污泥处理效率进行了实验,发现单独采用化学调理剂阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)对剩余污泥进行处理,CPAM 的最佳投加量为 120 mg/L,污泥滤饼含水率为 81.2%;而单独采用超声波处理,最佳的声能密度为 0.04 W/mL,污泥滤饼的含水率为 80.4%;而采用化学调理剂之前先进行超声波预处理,污泥滤饼含水率降到 72.2%,这样使剩余污泥的脱水性能得到较大改善,可以降低污泥处理的费用。魏金枝等^[18]通过超声波/H₂O₂对剩余污泥进行了实验,发现当过氧化氢投加量为污泥体积的 1.5%、pH = 11、反应时间为 20 min 时,TSS(总悬浮物含量)减少近 20%,超声/H₂O₂联合作用效果明显优于两者的单独作用。

3.1.2 热处理

热处理主要是通过对污泥进行加热处理,使污泥中絮体被破坏,细胞破碎,促进厌氧过程中的有机物水解的过程。主要发生 4 个过程:(1)污泥絮体结构解体;(2)污泥细胞破碎和内部的有机物释放;(3)内部有机物水解;(4)美拉德反应。其中的 3 个步骤要求的温度都较低,只有有机物的水解需要较高的温度。外部固体物质的溶解及絮体的破碎过程和内部有机物的水解过程是两个最关键的步骤。经过加热预处理的剩余污泥较直接厌氧消化处理反应时间更短,产甲烷效率也更高。王治军等^[19]对剩余污泥进行了厌氧消化前热水解,发现随着热水解温度的升高,污泥的水解速率和水解程度都会提高,更加容易进行厌氧消化,但并非温度越高越好,当提高水解温度到 200 °C 时,会发生美拉德反应^[20](水解出来的还原糖的醛基和氨基酸的氨基生成难降解的褐色多聚氮的

反应),因此热水解虽然可以促进后续的厌氧消化,但温度过高会产生一定量的难降解中间产物,这种物质会在一定程度上抑制厌氧消化.经过研究发现热水解的最佳温度为170℃,当反应时间为30min时,厌氧消化的性能和系统去除率会显著提高,COD去除率最大可提高20.18%.此种方法目前已被应用于剩余污泥的处理当中.

3.2 化学方法处理工艺

3.2.1 碱预处理

加碱预处理是通过加碱促进污泥中纤维成分溶解为有机碳化合物,有机碳化合物更容易进行厌氧消化,这样就更容易进行厌氧反应.加碱可以抑制细胞的活性、溶解外面的细胞壁,释放出的细胞内部物质被其他活性污泥利用,提高了污泥的生化性能,增加了甲烷产量.进行加碱预处理控制因素是加碱量和种类.林志高等^[21]对剩余污泥进行实验,发现经过加碱预处理后基质的去除率增加了,同时产气量也增加了,并且随着加碱量的增加,产气量和基质去除率也在不断地增加.加碱量有个上限,因为无法被生物分解利用的物质并没有因为加碱预处理变成可以生物分解的物质.同时还发现,经过加碱预处理的单位基质去除所产生的甲烷量比没加碱的要高,所以碱处理同样有助于污泥后续的厌氧处理.李佳荣等^[22]也对剩余污泥进行实验,发现加碱预处理后,短时间内就可将污泥中有机物转化为可溶性物质,促进了水解的进行.但污泥浓度如果过低,会降低水解效果,延长所需要的反应时间.国外也对此方法进行了相关研究^[23],证明加碱预处理再结合超声波处理,对厌氧消化会产生更加有效的效果.

3.2.2 臭氧氧化法

臭氧是一种很强的氧化剂,广泛应用于污水和污泥处理当中.它的能量消耗少,有着极强的裂解细胞的能力,能够杀灭活性污泥当中的微生物,进而氧化细胞当中释放出来的有机质.其过程按顺序可分为解体、增溶、氧化释放有机物质3个步骤.污泥通入臭氧之后,胞外聚合物、微生物细胞壁和细胞膜这3种物质被臭氧氧化成了小分子物质.这样它们的构造就会受损而破坏新陈代谢,经过继续氧化穿透细胞膜,破坏膜内的脂蛋白和脂多糖从而改变了细胞的通透性,最终导致了微生物死亡、溶解.细胞壁破裂后释放出来内部细胞质,臭氧继续将释放出的细胞质氧化,使污泥的混合物更容易处理.臭氧氧化法结合厌氧消化可以很好地解决污泥处置的问题.臭氧预处理能有效地破碎污泥,使大量细胞质释放出来,加速

污泥水解,提高污泥厌氧反应速率. Ak等^[24]使用臭氧进行污泥处理后,发现较传统的厌氧消化,产气量增加了一倍,同时也提高了内分泌物的去除率,使其吸附在污泥上.曹艳晓等^[25]对臭氧氧化的影响因素进行了研究,发现臭氧投加量提高,污泥就会减量;但是当投加量足够时,污泥减量作用不明显甚至产生负效果;另外,在臭氧浓度相同的条件下,随着污泥浓度的不断增加,蛋白质的溶出率也会越来越多.臭氧氧化技术比其他方法(超声波法破解,热处理法等)对污泥的破解效率更高,与臭氧氧化结合的一些厌氧工艺实例可以实现污泥处理的零排放,因此臭氧氧化法在实践中得到较广泛应用.研究者^[5]对剩余污泥进行了试验,投加适量的臭氧,这种工艺可以做到污泥的零排放.

3.2.3 湿式氧化法(WO法)

湿式氧化法是一种物理-化学法,是利用高温(150~370℃)和一定压力,处理高浓度有机废水和剩余污泥的方法.实践证明,此法对剩余污泥的降解非常有效.该方法的关键是反应温度,它对剩余污泥总的COD降解效果影响很大.例如,在300℃和30min的停留时间下,剩余污泥总COD可去除80%.而在一定的温度和压力下,总的COD要变成可溶性有机物主要取决于氧化的时间.剩余污泥中有大量的细菌群,在高温下比较容易水解,从细胞中释放大量可溶有机物.在300℃以上,氧化30min后,除部分可溶性COD氧化成二氧化碳和水以外,剩余可溶性有机物都分解成乙酸和其他有机酸为主的有机物.在这一过程中,82%的COD降解,其中75%被氧化,7%转化成可溶性有机物;70%以上的MLSS(混合液悬浮固体浓度)被去除,剩余的难以被氧化的可溶性有机物如乙酸等有机酸,可通过进一步的厌氧和好氧生物处理过程被降解,因此WO法处理城市污水厂活性污泥是十分有效的^[26].由于是在高温高压下运行,该方法运行和维护费用比较高.

3.3 生物方法处理工艺

3.3.1 厌氧流化床技术

厌氧流化床是一种独特厌氧消化系统.事实上它是一种高效的生物膜法处理方法.它以火山岩颗粒、沙子或活性炭颗粒等大表面积的物质为载体,厌氧微生物以膜形式结在火山岩或其他载体的表面,采用流态化技术,在污水中成流化状态,微生物与污水中的有机物进行接触吸附分解有机物,从而达到处理的目的.

载体颗粒周围较高的水流速度使得溶解性有机

物在液体与载体表面之间传质良好。载体本身颗粒较小,但床体膨胀能产生较大空隙率。这就使污水流过流化床时不容易产生堵塞,单位质量的载体可供生物膜生长的比表面积大。这些特点使得流化床反应器单位体积负荷率高,处理效率非常高,可达到 $5\,500 \sim 6\,500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (折合一般填料 $40 \sim 50 \text{ m}^3$)。因为生物接触面积特别大,所以处理效率很高,每立方米有效反应器每天处理 COD 达 $35 \sim 45 \text{ kg}$ 。

厌氧流化床由于床体膨胀产生较大空隙率,它可以用来处理污水厂未经脱水的污泥(含水量 $98\% \sim 99\%$),因此具有处理有一定固含量物料的特点。厌氧流化床具有对各种废水适应能力强、结构紧凑、占地少等优点,处理速率快、效率高、运行稳定,基本上解决了堵塞的问题。

但是它也存在着启动时间长的问題,造成该问題的原因是多方面的:厌氧细菌生长的比较缓慢,世代时间长;产甲烷菌是一类严格厌氧的生物,对外界环境所产生的变化十分敏感;多数厌氧微生物不易附着在粒型载体上。启动是一个循序渐进的过程,所以启动是关键的一步。

厌氧流化床目前主要应用于对高浓度废水的处理^[27-30],处理污水厂剩余污泥也可以采用这种方法,但是需要严格控制好反应的条件。目前国外开始研究利用厌氧流化床对城市有机废弃物和污泥进行混合消化,用以提高有机物分解率和产气量^[31]。

3.3.2 膜生物反应器

利用膜生物反应器处理废水和污泥是近几年发展起来的一种新型的处理技术。膜生物反应器有很高的截留率,并将浓缩液回流到生物反应器内,这样使反应器中具有很高的微生物浓度和相对较低的污泥负荷,并且拥有很长的污泥停留时间,使大部分的有机物被降解。例如使用错流式膜生物反应器,如果污泥被完全截留,那么污泥中无机组分没有过大的积累,碳的去除率可以达 90% ,凯氏氮被完全硝化。

杨造燕等^[32]在膜生物反应器的研究中指出,膜生物反应器如果在满足很好的出水水质的前提下,可以使污泥达到自身氧化,因而剩余污泥产量少。这主要是由于生物污泥全部截留在反应器内,使得反应器内污泥浓度高出常规活性污泥法 10 倍以上。

膜的堵塞和膜材料价格是目前膜生物反应器处理污泥存在的最大问题。膜的堵塞使污泥的有效渗透率下降,因此需要采用适当的方法冲洗膜,使膜的通透能力恢复。随着新材料的不断涌现,实现廉价的生物膜反应器的发展前景非常光明。

4 展 望

城市污水厂剩余污泥的处置已经成为了当今环境保护中的重点难点,采用先进技术,使其有效地减量化,是现代城市保护环境、遏制二次污染的重要方法,也是我国城市化过程中所要解决的重大环境问题。另一方面,充分利用剩余污泥中的生物质等有价值的成分,使其变废为宝是节约能源、发展循环经济的有效途径。因此,需要不断研发出新的技术,实现城市剩余污泥最大限度的减量化和资源化利用,对环境的保护和经济的发展作出贡献。

针对我国目前对于污泥处理的现状,首先应该改变填埋为主的处理方法,逐步向土地利用方面过度,逐渐增加土地利用的比例。日本等国家对焚烧技术有较为成熟的应用,焚烧是使城市污泥减量化的最有效手段,但能耗很大,在我国目前还不宜大规模推广。鉴于全国各地对污泥处置方法的差别很大,我们还应该加强对于污泥处置的管理制度和法规的建设。

厌氧消化处理剩余污泥具有能量需求低、处理后的产物稳定性较高、产生的甲烷可作为能源进行回收等特点,是一种很好的处理剩余污泥的技术;但也有反应速率慢、操作相对复杂等局限。通过研发各种新技术,如利用热处理、加碱预处理、超声波联合作用等新工艺,使厌氧消化这一过程能够更容易和有效率地进行,发展前景非常可观。这些研究的进展可以大大提高厌氧反应效率,为污泥处理技术的发展提供有利的支持。

随着我国经济的不断发展,肯定会产生更多工业废水和生活废水,同时产生更多的污水处理后的污泥,势必会对我国城市的环境承载力提出严峻考验。所以,我们要积极利用已有的研究成果,开发出处理城市污泥的新技术,提高城市污泥的处理水平,实现污泥的减量化和资源化,造福人类。

致谢:感谢天津市海洋资源与化学重点实验室开放基金(201107)的资助!

参考文献:

- [1] 杨波,陈季华,奚旦立. 剩余污泥的处理与处置技术[J]. 东华大学学报:自然科学版,2005,31(2):126-130.
- [2] 祁振. 污水剩余污泥的处理及其合理化利用[J]. 广东化工,2013,40(3):118-119.

- [3] 安顺乐,杨义飞. 浅谈我国剩余污泥处理处置的研究进展[J]. 能源环境保护,2013,27(2):14-18.
- [4] 周勇. 剩余污泥的处理和处置[J]. 中国资源综合利用,2007,25(5):33-34.
- [5] 黄雅曦,李季,李国学. 污泥处理与资源化利用现状分析[J]. 农业环境科学学报,2003,22(6):765-768.
- [6] 蒋洪石,梁伟. 剩余污泥的处理处置与资源化利用[J]. 广东化工,2009,36(5):104-105.
- [7] 文丰玉,唐植成. 剩余污泥处理处置技术及展望[J]. 绿色科技,2012(2):138-140.
- [8] Jin lingyun, Zhang guangming, Tian huifang. Current state of sewage treatment in China[J]. Water Research, 2014, 66: 85-98.
- [9] Kelessidis A, Stasinakis A S. Stasinakis. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries[J]. Waste Management, 2012, 32(6): 1186-1195.
- [10] 郝晓地,张璐平,兰荔. 剩余污泥处理/处置方法的全球概览[J]. 中国给水排水,2007,23(20):1-5.
- [11] 周玉文,胡伟, Hohnacker H G, 等. 德国污泥处置发展情况和相关政策法规简介[J]. 给水排水,2008,34(11):17-20.
- [12] 董慧明,李佰广,张颖,等. 污水厌氧生物处理研究回顾与展望[J]. 鞍山师范学院学报,2006,8(6):31-35.
- [13] Zhou P Q, Elbeshbishy E, Nakhla G. Optimization of biological hydrogen production for anaerobic co-digestion of food waste and wastewater biosolids[J]. Bioresource Technology, 2013, 130: 710-718.
- [14] 戴前进,李艺,方先金. 城市污水处理厂剩余污泥厌氧消化试验研究[J]. 中国给水排水,2006,22(23):95-98.
- [15] 王书敏,秦传新,吕善志,等. 污泥厌氧消化研究动态探讨[J]. 辽宁城乡环境科技,2005,25(4):50-52.
- [16] He junguo, Wan tian, Zhang guangming, et al. Ultrasonic reduction of excess sludge from activated sludge system: Energy efficiency improvement via operation optimization[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(1): 99-103.
- [17] 李玉瑛,曹晨吻,李冰. 超声波对剩余污泥化学调理的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(7):1357-1360.
- [18] 魏金枝,王迁,李芬,等. 超声/H₂O₂ 对剩余污泥溶胞效果的研究[J]. 黑龙江大学自然科学学报,2013,30(4):521-524.
- [19] 王治军,王伟,夏州,等. 热水解污泥的厌氧消化试验研究[J]. 中国给水排水,2003,19(9):1-4.
- [20] 肖本益,阎鸿,魏源送. 污泥热处理及其强化污泥厌氧消化的研究进展[J]. 环境科学学报,2009,29(4):673-682.
- [21] 林志高,张守中. 废弃活性污泥加碱预处理后厌氧消化的试验研究[J]. 给水排水,1997,23(1):10-15.
- [22] 李佳荣,李雪,许文峰,等. 污泥浓度对碱预处理剩余污泥水解产酸的影响[J]. 给水排水,2011,37(7):132-135.
- [23] Jang J H, Ahn J H. Effect of microwave pretreatment in presence of NaOH on mesophilic anaerobic digestion of thickened waste activated sludge[J]. Bioresource Technology, 2013, 131: 437-442.
- [24] Ak M S, Muz M, Komesli O T, et al. Enhancement of bio-gas production and xenobiotics degradation during anaerobic sludge digestion by ozone treated feed sludge[J]. Chemical Engineering Journal, 2013, 230: 499-505.
- [25] 曹艳晓,吴俊锋,冯晓西. 臭氧氧化剩余污泥的影响因素分析及应用初探[J]. 给水排水,2010,36(1):135-139.
- [26] 牛纛,陈季华. 剩余污泥处理技术进展[J]. 工业用水与废水,2000,31(5):4-6.
- [27] 方春玉,周建,张会展. AFB 反应器处理啤酒废水中活性污泥的培养与驯化[J]. 啤酒科技,2006(10):34-37.
- [28] Alvarado-Lassman A, Rustrián E, García-Alvarado M A, et al. Brewery wastewater treatment using anaerobic inverse fluidized bed reactors[J]. Bioresource Technology, 2007, 99(8): 3009-3015.
- [29] Andalib M, Nakhla G, Zhu J. High rate biological nutrient removal from high strength wastewater using anaerobic-circulating fluidized bed bioreactor(A-CFBBR) [J]. Bioresource Technology, 2012, 118: 526-535.
- [30] 葛杰,宋永会,王毅力,等. 流化床工艺在水处理中的应用研究进展[J]. 环境工程技术学报,2014,4(1):46-52.
- [31] 黄艳,刘石,赵树华. 厌氧流化床反应器的研究现状[J]. 化工文摘,2005(5):38-40.
- [32] 杨造燕,匡志花,顾平,等. 膜生物反应器无剩余污泥排放的研究[J]. 城市环境与城市生态,1999,12(1):16-18.

责任编辑:周建军