

污泥处理技术发展

王守仁,王增长,宋秀兰

(太原理工大学环境科学与工程学院,山西 太原 030024)

摘要 综述目前污泥处理技术的发展概况,介绍污泥减量化和资源化技术,分别从超声波破解、微型动物捕食、臭氧氧化和污泥解偶联等方面介绍了污泥减量化的最新工艺技术;从利用剩余污泥做碳源、建材、肥料及制油等方面总结了污泥资源化的最新成果。

关键词 污泥 减量化 资源化 固体废物 综述

中图分类号 X38 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2010)01-0080-04

Development of technique for sewage sludge treatment

WANG Shou-ren, WANG Zeng-zhang, SONG Xiu-lan

(College of Environmental Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract : A summary of the current development of the technique for sewage sludge treatment is presented, including a discussion of the reduction and the recycling of sewage sludge. The latest techniques for sludge reduction, such as ultrasonic disintegration, micro-fauna predation, ozone oxidation, and an uncoupled metabolism, are reviewed. The newest results regarding sludge recycling for use as a carbon source, timber, fertilizer, and oil are summarized.

Key words : sludge ; reduction ; recycling ; solid waste ; summary

污水处理厂生产过程中会产生大量的固体废物污泥。随着人们对污泥有害性认识的提高,如何妥善处理处置污泥已成为世界各国学者共同关注的课题。目前我国城市污水年排放量已经达到 414 亿 m³, 二级处理率达到 15%, 污泥产量大约为 1 500 万 t/a 左右(按含水率 97% 计)。按照我国城市污水处理厂的建设规划,2010 年,我国城市污水的处理量 and 处理率都将增加,污泥年产量也将相应增加到现在的 5 倍^[1]。由于对污水处理水平认识程度的限制,我国对污泥的处理处置长期没有引起足够的重视,在污泥处理处置方面的投资仅占污水处理厂总投资的 20% ~ 50%,而欧美国家则为 50% ~ 70%,显而易见,污泥处理处置是我国污水处理中的一个重要课题。

1 污泥减量化技术

污泥减量化技术是指在保证污水处理效果的前提下,采用适当措施使处理相同量污水所产生的污泥

量降低的各种技术。现行的减量化技术主要有 超声波破解、微型动物捕食、臭氧氧化、污泥解偶联等。

1.1 超声波破解

超声波破解^[2]是指在较高的声强作用下,特别是低中频(低于 1MHz)范围内,超声波会在水相中产生大量的寿命约为 0.1 μs 的空化穴,其在爆炸瞬间产生短暂的强压力脉冲,并于气泡周围的微小空间内形成局部高温、高压点,这种高温高压会引起一系列物理化学效应,数微秒后,该热点以 109 K/s 的速率迅速冷却。在冷却过程中,产生强大的冲击波与高速射流,微小气泡的爆炸可以产生高强的水力剪切力,从而将微生物的细菌壁破解,所以超声波法是一种破解污泥的有效方法,同时也可加速污泥水解速度。超声波处理用于污泥回流系统时,可强化细胞的可降解性,减少污泥的产量;用于污泥脱水设备时,有利于污泥脱水 and 污泥减量。

曹秀芹等^[3]在活性污泥系统中采用超声波处理

剩余污泥,指出在声能密度 $0.25 \sim 0.50 \text{ W/mL}$ 范围内,经过 $1 \sim 30 \text{ min}$ 的超声波处理,系统污泥表观产率会显著下降,剩余污泥产量可减少 $20\% \sim 50\%$ 左右,同时污泥沉降指数会有所下降,而污泥稳定性会有所提高。Ding 等^[4]采用超声波处理污泥,污泥中总悬浮物固体和挥发性悬浮物固体的去除率明显高于不采用超声处理的污泥,在辐射初期,污泥容积迅速减少,随着辐射时间的增加,污泥容积逐渐稳定。厌氧污泥在超声波的作用下,污泥容积变化率从 90% 降至 30% ,厌氧时间从 4 d 增加到 5 d 时,污泥容积变化率降至 20% ,污泥趋于稳定。

1.2 微型动物捕食

在活性污泥生态系统中,物质和能量之间的传递并不流畅,绝大部分物质和能量停留在初级消费者-细菌这个营养级上,而不能通过向更高营养级的传递使生物量减少,这是形成大量剩余污泥的根本原因。

Janssen 等^[5]通过对常规活性污泥工艺中投加后生动物和不投加后生动物的对比研究,利用混合液悬浮固体 (MLSS) 浓度计算,在蠕虫存在下,每克 COD 污泥的产量是 0.15 g ,而在正常运行条件下污泥的产量是 0.40 g 。王宝贞^[6]开发的淹没式生物膜污水处理新技术,采用固定式载体填料,增加了原生动物和后生动物在曝气池中的数量,有效地减少了剩余污泥的产量,小试研究确定其剩余污泥产量仅为常规活性污泥法的 $1/10 \sim 1/5$ 。采用该技术的番禺祈福新村污水处理厂(日处理量 8000 m^3),1998 年 5 月份投产后 1 年多没有剩余污泥产生。白润英等^[7]利用卷贝在合建式活性污泥反应器中摄食污泥进行污泥减量试验,证明在活性污泥法反应器中投加卷贝可以对污泥进行减量,其相对减量比例约为 40% ,绝对减量值为 $37.5 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})$;在连续运行反应器中卷贝对污泥的每日减量速度为 0.177 mg ;且在试验卷贝密度范围内不会对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 去除率产生影响,对污泥沉降指数 (SVI) 的影响也不大。魏源送等^[8]研究了蠕虫的污泥减量效果,指出高密度下的蠕虫生长不仅能显著降低污泥产率,而且能明显提高污泥的沉降性能。蠕虫总密度大于 $100 \text{ 条}/\text{mg}$ 时的平均污泥产率和污泥容积指数 ($0.10 \text{ kg}/\text{kg}$ 和 $41 \text{ mL}/\text{g}$) 远小于蠕虫总密度小于 $50 \text{ 条}/\text{mg}$ 时的平均污泥产率和污泥容积指数 ($0.22 \text{ kg}/\text{kg}$ 和 $71 \text{ mL}/\text{g}$)。仙女虫比红斑瓢虫具有更大的污泥减量能力,但当仙女虫占优势时,蠕虫生长会导致出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度的升高。翟小蔚等^[9]采用两段式膜生物反应器作为原生动物的哺育系统,培养富含原生动物的污泥,将其定期接种到普通活性

污泥中,利用原生动物对细菌的捕食作用,来达到削减剩余污泥量的目的。通过对比试验,发现接种原生动物后,污泥产率减小,同时,污泥的絮凝沉降性能得到改善,系统的去除率和硝化率得到提高,出水悬浮物浓度降低。

1.3 臭氧氧化

臭氧氧化使污泥减量的机理是:臭氧的强氧化性通过各种作用破坏污泥中微生物的细胞壁,使细胞质进入到污泥中。对回流污泥使用臭氧氧化,能使回流中 COD 增加,加大了细胞的可生化性,使剩余污泥量减小。污泥臭氧氧化期间,生物体的降解可用两种机理描述:①污泥中的生物细胞被破坏分解;②矿化,即溶解的有机物在后续氧化时转变成 CO_2 。

王琳等^[10]用接触反应柱对污泥在臭氧氧化过程中性质的变化进行了研究。在臭氧投量为 0.1 g 时,污泥中的溶解性 COD 质量浓度从 $256 \text{ mg}/\text{L}$ 增加到 $2126 \text{ mg}/\text{L}$,污泥沉降速度由初始的 $0.19 \text{ cm}/\text{min}$ 增至 $1.43 \text{ cm}/\text{min}$,滤饼的含水率由初始的 76.6% 降至 70.6% 。臭氧氧化后污泥絮体被分解,产生大量悬浮粒子,使污泥上清液的浊度和悬浮物浓度增加。臭氧氧化处理后污泥的过滤性能恶化,污泥比阻增大。在日本的 Shima 污水处理厂应用臭氧技术运行了 9 个月而没有剩余污泥产生。这一运行效果是由于臭氧对部分回流污泥进行臭氧氧化所致,由此提高其生化降解性并在曝气池中强化生物氧化降解。该厂处理污水量为 $450 \text{ m}^3/\text{d}$ 。试验证明,污泥减少量与臭氧投加剂量和被处理的污泥量成比例。该厂试验证明,为完全消除剩余活性污泥所需的臭氧剂量为每千克污泥 0.034 kg 臭氧,而需要处理的回流污泥量为常规污水处理厂剩余污泥量的 4 倍^[11]。

1.4 污泥解偶联

活性污泥微生物在利用底物时会发生一系列的生物化学反应,合成细胞的组分,同时产生废物并排泄到体外,这个过程就是微生物的新陈代谢。新陈代谢包括合成代谢和分解代谢。二者是偶联的,即氧化和磷酸化作用之间存在着偶联关系,可以通过投加解偶联剂使其脱偶联,氧化反应仍可以进行,而磷酸化反应不能进行,从而导致微生物的合成反应无法进行,污泥产率大幅度减小。

李颖等^[12]采用 3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺 (TCS) 作为代谢解耦联剂添加到活性污泥工艺中,进行连续曝气分批培养实验。结果表明在 TCS 总投加量相同的情况下,采用一次性大剂量投加的污泥减量化效果好于分次小剂量投加。在有效容积为 10 L 的反应器中每天投加 12 mg TCS,污泥产量比对照下降了 33% ,而每两天一次性投加 24 mg TCS,污泥产量比

对照下降了 55%。污泥的 COD 去除能力有所下降,当一次性投加 12 mg 时,COD 去除率比对照下降了 12%,但出水氨氮及总氮质量浓度均未受影响。污泥的 SVI 有所上升,但沉降性能未见有明显变化。

2 污泥资源化

2.1 做碳源

在生物处理系统内,初沉污泥是最具发展潜力的可利用碳源。通过生物热解、化学水解及生物水解等,可将其中的固态有机物转化为易于生物利用的低分子溶解态有机物(即快速碳源),重新投加于污水处理系统,从而获得较高的脱氮除磷效率。Rong 等^[13]对用臭氧氧化污泥作为反硝化碳源进行了研究,研究结果表明,由于臭氧氧化污泥中含有氨,用它作为反硝化碳源不能完全去除氨。Diafer 等^[14]采用湿式氧化法处理污泥,处理后的污泥可直接用于填埋;用处理后的上层清液作为反硝化菌的碳源,效果令人满意。

吴一平等^[15]对城市污水处理厂初沉污泥转化为生物脱氮除磷系统快速可利用碳源进行了试验研究。指出控制初沉污泥含固率 2.13% 左右,温度 33℃,HRT 为 3 d,pH 值 5.5~6.5 时,初沉污泥水解转化率为 13.6%,VFA 产率为 0.102 mg(每毫克污泥所产生的 COD) 初沉污泥经粉碎预处理后,控制含固率 2.20% 左右,温度 33℃,同样的 pH 值下,HRT 为 2d 时,水解转化率可达 20.59%,VFA 产率为 0.152 mg,可为脱氮除磷系统提供快速可利用的碳源。初沉污泥水解/酸化产物的脱氮速率比城市污水、初沉污泥中的碳源的脱氮速率分别高出 2 倍和 11 倍,也比外加甲醇提高约 1/3。因此初沉污泥水解/酸化产物是生物脱氮除磷系统一个经济有效的可替代快速碳源^[16]。

2.2 做建材

污泥建材利用是污泥资源化方式的一种,其内容包含了利用污泥及其焚烧产物制造砖块、水泥、陶粒、玻璃、生化纤维等。

污泥制砖有干化污泥直接制砖和污泥灰渣制砖两种方法。用干化污泥直接制砖时,当污泥与黏土按质量比 1:10 时,污泥砖可达普通红砖强度;利用污泥灰渣制砖时,由于灰渣与制砖黏土的化学成分比较接近,制砖时只需添加黏土与硅砂,比较适宜的配料质量比为灰渣:黏土:硅砂 = 100:50:(15~20)。Janetta 等^[17]在黏土中加入 10% 的污泥和炭黑厂废弃混合物进行制砖,试验中发现加入 10% 的混合物能够显著增加砖坯的湿度和空气收缩率,烧制的砖具有良好的多孔性和更高的绝缘性。

2.3 做肥料

Zahangir 等^[18]利用丝状真菌处理生活污水处理厂的污泥,将污泥转变为含高蛋白、氮、磷、钾等的堆肥材料。该过程利用黑曲霉和青霉,在好氧条件下对污泥进行液体状态的生物转换,污泥质量分数小于 4%(以总悬浮物计)。在生物转换过程中,1kg 溶液中 30g 真菌生物体蛋白质富集成 93.89g 生物固体,生物固体中氮、磷、钾的质量分数分别为 6.1%、3.1%、0.15%,高于未经处理污泥中氮、磷、钾的含量。污泥经 8 d 处理,污泥比阻由 8.5 cm/g 降至 1.4 cm/g,其脱水性能优于未经处理的污泥,处理后的上层清液达到排放标准。

2.4 制油和制活性炭

污泥低温热解制油技术是在无氧微正压条件下,加热污泥至一定温度(300~600℃),污泥中的脂类、蛋白质等有机物经过蒸馏和热分解作用转化为油、反应水、非凝性气体和污泥炭等 4 种可燃产物。Shen 等^[19]用流化床低温热解污水厂的污泥,以获得最大的油产量,考察了温度、气体停留时间对热解产物组成的影响。在 300~600℃、气体停留时间 1.5~3.5 s 的条件下,有 3 种产物产生,即非凝性气体、固体、液体。在 525℃、气体停留时间 1.5 s 时,得到的油产量最高,为污泥质量的 30%。采用色谱-质谱法分析油的组成,发现主要是具有 1~3 个芳香环并带有羟基的长的直链碳水化合物。Menéndez^[20]首先对微波制备活性炭的可行性进行了研究,到目前为止,微波加热处理活性炭的工艺条件及其性能研究还不够完善。蔺丽丽等^[21]采用微波加热法,以污水处理厂剩余污泥为原料,磷酸为污泥活化剂制备污泥活性炭。微波功率、辐照时间和磷酸浓度对污泥活性炭吸附性能具有显著影响,在最佳工艺条件微波功率 480 W、辐照时间 315 s 和磷酸浓度 40% 条件下制得的活性炭碘值 301 mg/g,比表面积 168 m²/g,污泥中重金属绝大部分被固化。与传统商品炭相比,污泥炭孔隙结构以中孔为主。利用该活性炭处理城市生活污水处理厂出水,COD 去除率可达 87% 以上。

参考文献:

- [1] 建设部综合财务司.中国城市建设统计年报[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] CLARK P B, NUJJO I. Ultrasonic sludge pre-treatment for enhanced sludge digestion [J]. Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Mangement, 2000, 14(1): 66-71.
- [3] 曹秀芹,陈君,王洪臣,等.超声处理对活性污泥系统污泥减量效果的研究[J].环境污染治理技术与设备,2006,

- 7(6) 35-88.
- [4] DING Wen-chuan, LI Dong-xue. Enhancing excess sludge aerobic digestion with low intensity ultrasound [J]. J of Cent South Univ Technol, 2006, 13(4) 408-411.
- [5] JANSSEN P M J, RULKENS W H, RIESENK J H, et al. The potential for metazoa in biological wastewater treatment [J]. Water Quality International (WQI), 1998(9/10) 25-27.
- [6] WANG Bao-zhen. A study on simultaneous organic and nitrogen removal by extended aeration submerged biofilm process [J]. Wat Sci Tech, 1991, 24(5) 197-214.
- [7] 白润英, 梁鹏. 黄霞卷贝进行污泥减量的应用研究 [J]. 给水排水, 2005, 31(7) 19-22.
- [8] 魏源送, 樊耀波. 蠕虫污泥减量效果及其影响因素分析 [J]. 环境科学, 2005, 26(1) 76-83.
- [9] 翟小薇, 潘涛, GHYOOT W, 等. 利用原生动物的消减剩余活性污泥产量 [J]. 中国给水排水, 2000, 16(11) 36-9.
- [10] 王琳, 孙德栋. 臭氧氧化分解污泥的试验研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(1) 83-86.
- [11] WQI. IAWQ conference review 'sludge and sustainability' [R]. Water Quality International (WQI), 1997 28-29.
- [12] 李颖, 叶芬霞. 化学解耦联剂对活性污泥产率的控制作用 [J]. 环境科学研究, 2006, 19(3) 88-90.
- [13] RONG Cui, DEOKJIN J. Nitrogen control in AO process with recirculation of solubilized excess sludge [J]. Water Res, 2004 (38) 1159-1172.
- [14] DIAFER M, LUCK M, ROSE J P, et al. Transforming sludge into a recyclable and valuable carbon source by wet airoxidation [J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(8) 77-83.
- [15] 吴一平, 王旭东. 初沉污泥作为生物脱氮除磷快速碳源的转化因素研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 : 自然科学版, 2005, 37(4) 501-503.
- [16] 吴一平, 刘莹, 王旭东, 等. 初沉污泥厌氧水解/酸化产物作为生物脱氮除磷系统碳源的试验研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 : 自然科学版, 2004, 36(4) 421-423.
- [17] JANETTA B, ASSEN P, LILIAILA P, et al. Utilization of wastewaters from the coke-chemical production and sewage sludge as additives in the brick-clay [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2003, 150 103-111.
- [18] Md ZAHANGIR A, FAKHRU-RAZI A, ABUL H. Biosolids accumulation and biodegradation of domestic wastewater treatment plant sludge by developed liquid state bioconversion process using a batch fermenter [J]. Water Res, 2003 (37) : 3569-3578.
- [19] SHEN L, ZHANG Dong-Ke. An experimental study of oil recovery from sewage by low temperature pyrolysis in a fluidized-bed [J]. Fuel, 2003(82) 465-472.
- [20] MENÉNDEZ J A, INGUANZO M, PIS J J. Microwave-induced pyrolysis of sewage sludge [J]. Water Research, 2002, 36 3261-3264.
- [21] 蔺丽丽, 蒋文举, 金燕, 等. 微波法制备污泥活性炭研究 [J]. 环境工程学报, 2007, 1(4) 119-122.
- (收稿日期 2008-05-07 编辑 高渭文)

(上接第 79 页)

- [2] 郭华明, 杨素珍, 沈照理. 富砷地下水研究进展 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(11) 1109-1117.
- [3] KRISHNA M, CHANDRASEKARAN K, KARUNASAGAR D, et al. A combined treatment approach using Fenton's reagent and zero valent iron for the removal of arsenic from drinking water [J]. J Hazard Mater, 2001, B84 229-240.
- [4] SMITH J V S, JANKOWSKI J, SAMMUT J. Vertical distribution of As (III) and As (V) in a coastal sandy aquifer: factors controlling the concentration and speciation of arsenic in the Stuarts Point groundwater system, northern new South Wales, Australia [J]. Geochem, 2003, 18(9) 1479-1496.
- [5] GUO H M, WANG Y X. Hydrogeochemical processes in shallow Quaternary aquifers from the northern part of Datong Basin, China [J]. Applied Geochemistry, 2004b, 19 (1) 19-27.
- [6] BROERS H P, BUIJS E A. Origin of trace metals and arsenic at the Oostrum well field, Netherlands [R]. Instit Applied Geoscience TNO, 1997, Report NITG 97-189-A (in dutch).
- [7] COETSIERS. Research into the hydrogeological and hydrochemical conditions of the Neogene aquifer in Flanders, using modeling and isotope hydrochemistry [D]. Belgium : Univ Ghent, 2007.
- [8] STUYFZAND P J. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands [D]. Netherlands : Univ Amsterdam, 1993.
- [9] Van BEEK C G, Van der JAGT H. Mobilization and speciation of trace elements in groundwater [C]//IWSA International Workshop ' Natural Origin Inorganic Micropollutants : Arsenic and Other Constituents ', Vienna, 1996 6-7.
- [10] STUYFZAND P J. A new hydrochemical classification of water types: principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands [C]//Proc 9th Salt Water Intrusion Meeting. Delft : Delft Univ Techn, 1986 641-655.
- [11] Van ROSSUM P. Mobilisation and origin of arsenic in the subsoil of the Province of North Holland [R]. Report VU University Amsterdam (in dutch), 1998 94-96.
- [12] Van BREUKELEN B M, APPELO C A J, OLSHOORN T N. Hydrogeochemical transport modeling of 24 years of Rhine water infiltration in the dunes of the Amsterdam water supply [J]. Hydrol, 1998, 209 281-296.
- (收稿日期 2008-12-10 编辑 高渭文)