

综述与专论

# 生活污水处理厂污泥浓缩技术研究进展

吴雪茜,郭中权,毛维东

(煤科集团杭州环保研究院,浙江 杭州 311201)

**摘要:**为了促进城镇生活污水处理厂污泥浓缩处理技术的研究,深入分析了污泥浓缩技术的发展,着重研究了重力浓缩、机械浓缩和气浮浓缩。结果表明,城镇生活污水处理厂污泥减量日益受到重视,污泥浓缩是污泥减量最重要的手段;重力浓缩仍是城镇污水处理厂污泥浓缩的主要手段,但由于环境观感较差、污泥释磷等问题,呈现被机械浓缩与气浮浓缩逐渐取代的趋势;气浮浓缩中的涡凹浓缩技术具有投资费用少、占地面积小等优点,成为目前的研究重点,是未来城镇污泥浓缩技术发展的重要方向。

**关键词:**污泥;重力浓缩;机械浓缩;气浮浓缩;涡凹气浮

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2017)06-0005-04

## RESEARCH PROGRESS OF SLUDGE THICKENING TECHNOLOGY IN DOMESTIC SEWAGE TREATMENT PLANT

WU Xue-qian, GUO Zhong-quan, MAO Wei-dong

(Hangzhou Environmental Research Institute of CCTEG, Hangzhou 311201, China)

**Abstract:**In order to promote the research of sludge thickening technology in municipal sewage treatment plant, the development of gravity thickening, mechanical thickening and flotation thickening of sludge thickening technology was analyzed. It was concluded that sludge reduction of municipal wastewater treatment plant had attracted more and more attention and sludge thickening was the most important way of sludge reduction. Gravity thickening was still the main means of sludge thickening in municipal wastewater treatment plant, but it had showed a trend of being replaced by mechanical thickening and flotation thickening gradually because of the poor environmental perception and phosphorus release issues. Cavitation air flotation technology had become a focus of research for the advantages of low investment cost and small land occupy, it is the important developing trend of municipal sludge thickening technology in the future.

**Key words:** Sludge; Gravity thickening; Mechanical thickening; Flotation thickening; Cavitation air flotation.

随着城镇化进程的加快,我国生活污水处理率逐年提高,污泥产量也日益增加<sup>[1]</sup>,据住房和城乡建设部发布的《2016年城乡建设统计公报》显示,2016年末,全国城市共有污水处理厂2039座,污水厂日处理能力14 910万m<sup>3</sup>,据估算,我国

湿污泥(含水率80%)年产量将达到3 000万t。城镇生活污水处理过程中产生的剩余活性污泥及生物膜污泥等二级污泥结构松散,含水率高,平均粒径在100 μm~500 μm之间,脱水性能差<sup>[2]</sup>。根据实际经验,污泥处理成本一般占运行成本的40%~70%<sup>[3-5]</sup>。此外,原本污水中所含的有机物、致病

微生物等有害物质可能被浓缩于污泥中,处理不当必然会对环境造成更严重的二次污染<sup>[6,7]</sup>。

污泥减量化排在污泥处理处置“四化”原则首位<sup>[8]</sup>。污泥浓缩是污泥减量化的重要手段之一,其作用在于减少污泥体积,降低后续构筑物规模或处理单元的压力。发展污泥浓缩技术,已成为各国政府、社会和生产部门广泛关注的热点问题。本文研究了国内生活污水处理厂污泥浓缩技术的现状与发展,为今后研究和解决相关问题提供参考。

## 1 浓缩技术

污泥的浓缩技术主要分为重力浓缩、机械浓缩和气浮浓缩三大类。

### 1.1 重力浓缩

重力浓缩本质上属于压缩沉淀。活性污泥的比重约在 1.000~1.005,处于膨胀状态时比重常小于 1,因此活性污泥一般不易实现重力浓缩,污水处理厂中一般将初沉污泥和二沉污泥混合后进行重力浓缩以提高重力浓缩效果<sup>[9]</sup>。

目前重力浓缩仍是我国城镇污水处理厂污泥浓缩的主要手段,所占比重达到 72 %<sup>[10]</sup>。重力浓缩技术成熟且趋于完备,重力浓缩过程中副产物的处理和利用是目前的研究重点。王莉等<sup>[11]</sup>研究了 A<sup>2</sup>O 系统处理生活污水产生的富磷剩余污泥重力浓缩前后污泥中阳离子及磷酸盐分布的变化,发现污泥中的磷酸盐随着重力浓缩的进行不断释放,浓缩结束时释磷量达到 5.51 mgP/g,释磷量几乎全为无机磷释放所贡献,浓缩前后污泥的性质未发生改变。李振华<sup>[12]</sup>通过针对城镇污水厂剩余污泥浓缩过程中浓缩时间对浓缩效果、磷释放及去除的影响进行研究。结果表明对已建有重力浓缩池的城镇污水处理厂且污水厂处理能力存有一定富余时,将污泥浓缩时间从 16 h 延长至 48 h 可将污泥含固率由 1.8 % 提升至 2.6 %,且不会对污水厂除磷产生不良影响。

虽然重力浓缩工艺技术、构造和运行管理方式较简单,但存在以下问题:①停留时间较长,不进行曝气搅拌时污泥容易腐败发臭,环境观感较差;②浓缩池中的污泥往往会发生厌氧消化,污泥上浮,影响浓缩效果;③厌氧消化过程所产生的 H<sub>2</sub>S 会造成轴承及搅拌栅腐蚀,管理维护困难;④浓缩效率相对较低,处理高含水率污泥须以高运行负荷为代价,导致高成本;⑤厌氧储存条件下,

好氧过程中所吸附的磷会释放到液相的污水中。近年来,随着城镇生活污水总磷排放标准的提高,传统重力浓缩工艺受到极大挑战<sup>[13]</sup>。

### 1.2 机械浓缩

机械浓缩包括离心浓缩、带式浓缩机浓缩和转鼓、螺压浓缩机浓缩等。

离心浓缩在浓缩效率和处理能力方面均优于重力浓缩工艺。由于浓缩周期短,故避免了厌氧过程中磷的二次释放,但该技术电耗较高,所以在城镇污水处理厂剩余污泥的浓缩过程的应用案例较少<sup>[14]</sup>。

带式浓缩机是一种比较高效的污泥脱水设备,其运行成本较低,只需要消耗少量冲洗水。和离心浓缩一样,在进入设备之前,需要采用高分子聚合物进行化学预处理,然后导入滤带后,通过机械压力作用水分会从滤带渗出来,从而达到污泥浓缩的目的<sup>[15]</sup>。

转鼓、螺压浓缩是将经化学混凝的污泥进行螺旋推进脱水和挤压脱水。转鼓、螺压浓缩机结构紧凑,简单,占地面积小,滤网更换方便,耗电少,但是投药量大。且为了防止滤网被细小颗粒堵塞,需要用压力水不停冲洗。转鼓浓缩设备已被应用于天津、重庆、南昌等城市的污水处理厂。

胡伟等<sup>[16]</sup>在德国某污水处理厂对螺旋式、转鼓式、离心式、带式等机械浓缩工艺进行了长达 1 年的连续对比试验,得出以下结论:固体回收率,带式机>螺旋式机>转鼓式机>离心式机;絮凝剂消耗,螺旋式机>转鼓式机>带式机>离心式机;单位能耗,离心式机>转鼓式机>带式机>螺旋式机。相较于重力浓缩工艺,机械浓缩工艺占地面积小,卫生条件好,造价低;对于富磷污泥可以避免磷的二次释放,提高污泥处理系统总磷去除率,但仍具有运行费用的机械维修费用高,经济性差等劣势。

### 1.3 气浮浓缩技术

根据产生气泡方式的不同气浮工艺可分为压力溶气气浮、生物溶气气浮和涡凹气浮。

#### 1.3.1 压力溶气气浮浓缩工艺

压力溶气气浮技术于上世纪二十年代开始应用于水处理领域。该技术首先在工业废水处理中得到广泛应用,也同时被应用于城镇生活污水处理厂的污泥浓缩等领域<sup>[17]</sup>。我国于上世纪 80 年代开始了污泥气浮浓缩技术方面的研究<sup>[18]</sup>。

国内研究集中于对溶气方式、气固比、溶气压

力等运行参数以及刮泥方法等对浓缩效果的影响。姚毅等<sup>[19]</sup>对上海污水处理厂的剩余污泥进行浓缩试验以确定污泥性质、气固比、固体负荷、气浮池高度、混凝剂及刮泥等因素对气浮浓缩效果的影响,结果认为沉降、压缩性能、活性等较好的污泥其气浮浓缩性能也较好,固体负荷是影响浮泥浓度的主要因素。何群彪等<sup>[20]</sup>采用压力溶气气浮技术对剩余污泥进行浓缩,初步得到了压力溶气气浮工艺的主要设计和运行参数:气固比0.010~0.025,溶气压力为0.25 MPa~0.35 MPa,固体负荷350 kg/(m<sup>2</sup>·d)~450 kg/(m<sup>2</sup>·d),水力负荷150 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)~200 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d),处理后污泥含固率达4%。许世伟等<sup>[21]</sup>对MBR工艺所产生污泥进行压力溶气气浮中试研究,进一步确定运行参数为:固体负荷为15 kg/(m<sup>2</sup>·h),水力负荷为1.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),回流比为1,PAM投配率2‰(w/w干污泥),溶气压力为0.4 MPa,气固比为0.03,经浓缩后污泥含水率降低至96%左右。

工程应用方面,成都市三瓦窑污水处理厂采用溶气气浮浓缩处理来自二沉池的剩余污泥。设计进泥含水率按99.4%,出泥含水率按96%,溶气压力为0.5 MPa,气固比为0.015,固体负荷为50 kg/(m<sup>2</sup>·d),水力负荷为1.1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

### 1.3.2 生物气浮浓缩工艺

1983年瑞典Simoma Cizinska开发了生物气浮工艺,向污泥中投入硝酸盐,利用污泥反硝化作用产生气体使污泥上浮而进行浓缩。刘军等<sup>[22]</sup>研究发现硝酸盐浓度、温度、碳源、初始污泥浓度、泥龄、运行时间对污泥的浓缩效果有较大影响。生物气浮浓缩工艺在国内未有工程应用,瑞典将生物气浮工艺应用于Pisek、Milevsko、Bjornlunda污水处理厂,进行了生产性实验<sup>[23]</sup>,结果表明经4~24 h浓缩,污泥MLSS分别由6.2 g/L、10.7 g/L、3.5 g/L浓缩至17.2 g/L、16.7 g/L、29.7 g/L,每浓缩1 gMLSS分别消耗NO<sub>3</sub>-17.2 g、16.7 g、29.7 mg。

### 1.3.3 涡凹气浮浓缩工艺

涡凹气浮已广泛应用于工业废水和城镇污水的预处理中,但在污泥浓缩中的应用不多<sup>[24]</sup>。目前研究主要集中于污泥调理药剂投加量、固体负荷、水力负荷等参数对污泥浓缩效果影响研究。

胡锋平等<sup>[25,26]</sup>首次将涡凹气浮技术应用于污泥浓缩,采用CAF-5型涡凹气浮浓缩技术处理南

昌朝阳污水处理厂剩余活性污泥低浓度活性污泥,确定了一系列参数:絮凝剂采用FO4440SH,投加量为1.0 kg/tDS,表面活性剂采用1227,投加量0.2 kg/tDS,固体负荷为230 kgMLSS/(m<sup>2</sup>·d),水力负荷为90 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)。处理后出水SS为200 mg/L~250 mg/L,溶解性COD为30 mg/L~40 mg/L,污泥中的磷在浓缩过程中不会释放。管晓涛等<sup>[27]</sup>研究了絮凝剂和表面活性剂投加点和投加量对涡凹气浮污泥浓缩工艺影响,结果表明表面活性剂应投加在反应池出口处,阳离子高分子絮凝剂最佳投药量为1.0 kg/tDS,表面活性剂最佳投药量为0.2 kg/tDS,出水污泥含水率为92%~94%。濮军文等<sup>[28]</sup>在前人研究基础上,对剩余活性污泥进行涡凹气浮浓缩处理,研究了药剂投加量、固体负荷、水力负荷等对污泥浓缩效果的影响,结果表明涡凹气浮技术应用于剩余污泥浓缩处理是可行的,且固体回收率可高达95%。孙德翀等<sup>[29]</sup>在市政污水厂采用涡凹气浮系统进行剩余污泥浓缩的生产性实验,试验期间浓缩后污泥含水率为95%~97%,基本满足浓缩后剩余污泥含水率的要求。

工程应用方面,陆莺等<sup>[30]</sup>将扬子石油化工有限公司处理剩余活性污泥的重力浓缩装置改造为涡凹气浮浓缩,投加阳离子聚合型表面活性剂与PAM,改造后污泥的絮凝、沉降性能和脱水效果大为改善,且装置运行费用每年可减少90.25万元。

## 2 结语

城镇污水处理厂污泥处理处置问题日益引起社会广泛关注,污泥浓缩是污泥处理处置的主要环节之一。目前污泥浓缩呈现机械浓缩与气浮浓缩逐渐取代重力浓缩的趋势,特别是气浮浓缩中的涡凹浓缩技术,具有投资费用少、占地面积小等优点已成为目前的研究重点。从可持续发展的角度看,需进一步完善污泥浓缩段设备,开发针对低浓度剩余污泥浓缩脱水一体化设备。

## 参考文献

- [1] 彭晓峰,陶涛,陈剑波,等. 国际污泥研究现状初探[J]. 自然杂志, 2002, 24(4):191-194.
- [2] ?rmeci B, Vesilind P A. Response to comments on "development of an improved synthetic sludge: a possible surrogate for studying activated sludge dewatering characteristics"[J]. Water Research, 2001, 35(5):1365-6.
- [3] 金波,李宝新. 城镇污水处理厂污泥的综合利用探讨[J]. 环境

科学与管理, 2010, 35(5):106-109.

- [4] 石吉, 邵青, 米晓. 城镇污水污泥的处理利用及发展[J]. 中国资源综合利用, 2004(02):15-18.
- [5] 朱建平. 城镇污水处理厂污泥处置的现状与研究进展[J]. 城镇建设理论研究:电子版, 2016(15).
- [6] 王锋, 卢雪丽, 陈杰, 等. 城市生活污水污泥减量化和资源化研究概述[J]. 环境与发展, 2011, 23(10):153-157.
- [7] 李雄伟, 李俊, 李冲, 等. 我国污泥处理处置技术应用现状及发展趋势探讨[J]. 中国给水排水, 2016(16):26-30.
- [8] 胡锋平, 朱自伟, 李伟民, 等. 城镇污水处理厂污泥浓缩工艺的应用与发展趋势[J]. 土木建筑与环境工程, 2004, 26(05):124-127.
- [9] 胡锋平, 邓荣森, 何洪, 等. 二、城镇污水处理厂污泥浓缩工艺的应用与研究进展[C]// 污泥处理处置技术及装备会议. 2003.
- [10] 胡锋平, 朱自伟, 李伟民, 等. 城市污水处理厂污泥浓缩工艺的应用与发展趋势[J]. 土木建筑与环境工程, 2004, 26(5):124-127.
- [11] 王莉, 杨永哲, 李林辉, 等. 富磷剩余污泥重力浓缩过程中各参数的变化特征[J]. 中国给水排水, 2011, 27(01):37-40.
- [12] 李振华. 浓缩时间对污泥浓缩效果、磷释放及去除的影响[J]. 中国给水排水, 2012, 28(03):64-66.
- [13] 胡祝英, 康泽龙. 污泥浓缩工艺的应用现状和发展对策[J]. 榆林学院学报, 2008, 18(04):73-75.
- [14] 胡锋平. 低浓度剩余活性污泥涡凹气浮浓缩工艺研究[D]. 重庆大学, 2004.
- [15] 张超英, 吴绪文. 浓缩脱水一体化设备的设计选型[J]. 中国给水排水, 2000, 16(02):35-37.
- [16] 胡伟, 周玉文, Ruediger Kuehner. 污水处理厂剩余污泥机械浓缩工艺比较分析[C]// 中国城镇水务发展国际研讨会. 2007.
- [17] Sugahara M, Oku S, Sugahara M, et al. Parameters influencing

- sludge thickening by dissolved air flotation [J]. Waterence & Technology, 1993, 28(1):87-90.
- [18] 宋戎军. 城镇污水污泥处理与处置[J]. 黑龙江水利科技, 2004, 31(2):131-132.
- [19] 姚毅, 赵俊英, 高廷耀. 溶气气浮法浓缩剩余活性污泥[J]. 上海环境科学, 1988(6):5-8.
- [20] 何群彪, 高廷耀. 污泥减容的关键技术-剩余活性污泥的气浮浓缩法[J]. 中国环境科学, 1996, 16(2):128-131.
- [21] 许世伟, 付强, 张伟军, 等. 气浮技术在膜生物反应器剩余污泥浓缩过程中的应用[J]. 环境工程学报, 2014, 8(12):5161-5166.
- [22] 刘军. 生物气浮法浓缩剩余活性污泥工艺的研究[M].
- [23] ?i?inská S, Matěj? V, Wase C, et al. Thickening of waste activated sludge by biological flotation [J]. Water Research, 1992, 26(2):139-144.
- [24] 管晓涛, 胡锋平, 路文旭, 等. CAF 工艺浓缩剩余活性污泥的可行性研究[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(1):37-39.
- [25] 胡锋平, 黄晓东, 汪琳媛, 等. 低浓度剩余活性污泥涡凹气浮浓缩工艺研究[J]. 给水排水, 2006, 32(6):31-34.
- [26] 胡锋平, 汪琳媛, 马双群, 等. 氧化沟剩余污泥涡凹气浮(CAF)浓缩设备改进[J]. 土木建筑与环境工程, 2008, 30(05):105-107.
- [27] 管晓涛, 胡锋平, 徐烈猛, 等. 调理剂对 CAF 污泥浓缩工艺影响的试验研究[J]. 环境工程学报, 2006, 7(11):89-91.
- [28] 濮军文. 涡凹气浮技术在污泥浓缩中的应用 [J]. 能源化工, 2011, 32(5):57-60.
- [29] 孙德骞. 涡凹气浮系统在市政污水厂剩余污泥浓缩中的应用[J]. 海峡科技与产业, 2016(4):94-95.
- [30] 陆莺, 陈应新. 涡凹气浮在污泥浓缩中的应用探讨[J]. 通用机械, 2011(08):75-80.

(上接第 10 页)

题,在传统微电解反应器的箱体底部铺设曝气管,曝气头设置在活动承托板下部,通过曝气向填料补充氧气<sup>[7]</sup>,从而加速微电解的电化学反应过程。通过气流扰动反应过程减少了铁屑的板结时间,使废水和填料能够较均匀地混合,增加废水与填料的接触机会,增加了溶解氧,使反应器内形成了高活性的 Fe(OH)<sub>2</sub> 和 Fe(OH)<sub>3</sub> 絮体,强化混凝作用,进而使废水处理效率得到进一步提高。同时,加强日常操作与管理,定期进行大气量的曝气清池等,可有效的对填料层进行反冲洗,避免填料层板结,保证系统长期稳定运行。

#### 4 结语

微电解工艺预处理中药煎制废水具有处理效果好、使用寿命长、成本低廉及操作维护方便等诸多优点。从经济性、操作性和处理效果来看,采用微电解工艺作为中药煎制废水预处理工艺较为理想。

微电解工艺与水解酸化+ABFT 技术的联用在处理中药煎制废水时有较好的协同效应。因此,在以后的同类型废水处理研究和工程应用中,可进一步推广,扩大其应用范围。

#### 参考文献

- [1] 祝坚. 中药废水污染特点和处理研究进展[J]. 能源环境保护, 2007 年第 5 期.
- [2] 王永广, 杨剑锋. 微电解技术在工业废水处理中的研究应用[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(4):70-73.
- [3] 周培国, 傅大放. 微电解工艺研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(4):18-24.
- [4] 罗晓, 张凤琴, 王婷, 等. 微电解技术预处理制药废水的研究进展[J]. 河北工业科技, 2008, 25(5):326-330.
- [5] 张思相. 新型微电解填料的开发及其在废水处理中的应用[M]. 吉林大学硕士学位论文. 2008.
- [6] 秦树林, 高亮. 多元氧化微电解填料及其制备方法: 中国, ZL 2011 1 015132.X. 2013-03-06
- [7] 鲍建国, 王焰新, 刘慧, 等. 曝气内电解反应器: 中国 2839255[P]. 2006-11-22.