

自来水厂与污水厂污泥联合处理处置研究及应用进展

严爱兰^{1,2}, 李 军¹, 马 挺³, 刘 流⁴

(1. 浙江工业大学 环境学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江水利水电学院 水利与环境工程学院, 浙江 杭州 310018; 3. 中铁二院华东勘察设计有限责任公司, 浙江 杭州 310014; 4. 浙江省工业设计研究院, 浙江 杭州 310015)

摘 要: 自来水厂和污水厂都会产生大量的污泥,根据两种污泥的不同特性,将其联合处理处置具有理论依据。掺混水厂污泥可以提高污水厂剩余污泥的脱水性能;将水厂污泥投入活性污泥池可以提高污水中 COD、总磷和重金属等污染物的去除率,可以促进污水厂活性污泥的好氧颗粒化。国内外的工程实践表明,两类水厂污泥进行联合处理具有可行性。然而,两类水厂选址、输送管道布设和管材选择、水厂污泥对污水厂活性污泥活性的影响、供排水统筹管理体制等问题还需进一步研究和解决。

关键词: 自来水厂; 污水厂; 污泥联合处理处置

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)06-0030-05

Research and Application Progress of Sludge Treatment and Disposal in Waterworks and Wastewater Treatment Plant

YAN Ai-lan^{1,2}, LI Jun¹, MA Ting³, LIU Liu⁴

(1. College of Environment, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Institute of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Hangzhou 310018, China; 3. China Railway Eryuan Engineering Group East China Exploration & Design Co. Ltd., Hangzhou 310014, China; 4. Zhejiang Industrial Design & Research Institute, Hangzhou 310015, China)

Abstract: Large amounts of sludge could be produced in waterworks and wastewater treatment plant. According to the different characteristics of two kinds of sludge, the theoretical basis for the combined treatment and disposal of sludge from two treatment plants was provided. After the sewage sludge was added with the alum sludge, it could improve the dewatering performance of sewage sludge, improve the removal rate of wastewater COD, total phosphorus and heavy metals and other pollutants, and promote aerobic granulation of activated sludge in the wastewater treatment plant. The project practice around the world showed that the combined treatment of sludge from waterworks and WWTP was feasible. However, some issues need to be further investigated and solved, which includes the location of two plants, pipeline layout and material selection, the effect of alum sludge to activated sludge, water supply and drainage management system and so on.

Key words: waterworks; wastewater treatment plant; sludge combined treatment and disposal

随着我国水污染治理力度的不断加大,城镇污水厂污泥(以下简称“污水厂污泥”)产量也越来越多。污水厂污泥中富集了大量的微生物和有机质等复杂的物质,若处置不当会造成严重的环境污染和生态破坏。我国自来水厂反应沉淀和反冲洗产生的排泥水污泥(以下简称“水厂污泥”)也越来越多,若不经处理就直接排入江河湖泊等水体,不仅会影响水体环境,还会影响江河的航运和行洪排涝能力。如何对水厂污泥特别是污水厂污泥进行处理处置,是环境综合治理和技术研究中的热点^[1]。水厂污泥和污水厂污泥往往是分别处理处置,随着对两种污泥特性认识的不断加深、供排水一体化体制的建立和完善,将两类水厂污泥联合进行处理处置的研究和应用也逐渐发展起来。

1 水厂污泥和污水厂污泥联合处理的进展

1.1 脱水

污水厂污泥粒径小、粘性大、带有负电荷、有机物含量高、含有大量的胞外聚合物,且含水率高(通常99%以上)、脱水十分困难。根据现有的技术条件,污泥处理处置前必须进行脱水,脱水时必须通过物理调理和化学调理对污泥进行预处理。水厂污泥的有机质含量很小,主要含有大量的泥砂、污泥絮体及水处理过程中投加的混凝剂及其副产物,理论上这些成分对污水厂污泥具有物理调理和化学调理的功效,可提高污泥脱水效率。

有研究表明,水厂污泥对污水厂污泥可以起到调节作用,混合污泥的沉降性能比单独污水厂污泥的沉降性能好,且两种污泥混合后污泥总体积还会出现一定程度的减量^[2,3]。水厂铝盐污泥与活性污泥联合脱水时,水厂污泥所起作用如同粉煤灰^[4]、红泥^[5]、石灰^[6]等作为骨架构建体对混合污泥进行物理调理,而且随着铝盐污泥在混合污泥中所占比例的增加,混合污泥的脱水性能和沉降性越来越好。进一步研究显示,水厂污泥中含有大量的铝盐(或铁盐)絮凝剂、无机颗粒,甚至存在有机高分子聚丙烯酰胺(PAM)^[7],当两类水厂污泥联合处理后,混合污泥含水率可降低到60%以下,同时混合污泥脱水过程的化学调理剂PAM投量可减半,节省20%的处理成本。

Li等^[3]提出了两种污泥联合脱水时自来水厂铝污泥对活性污泥的调理机理模式(见图1)。新的污水厂污泥含有大量水和污泥絮体,水厂污泥中含

有大量的无机颗粒和水处理后的剩余混凝剂。两类水厂污泥混合后,水厂污泥中剩余的絮凝剂阳离子可中和污水厂污泥中的负电荷,降低Zeta电位;水厂污泥中剩余PAM或副产物等通过吸附架桥作用,使活性污泥的小颗粒形成比较大的颗粒絮体,加大污泥的沉降速度,这一过程为化学调理;水厂污泥中的无机颗粒,在联合脱水过程中可形成良好的透水通道和深度脱水时的压榨作用,这一过程为物理调理。调理后开始压滤,混合污泥中无机颗粒相互摩擦和挤压,外界作用力使污泥颗粒加快破裂,有利于污泥中的结合水和细胞水被挤出,从而提高脱水性能。

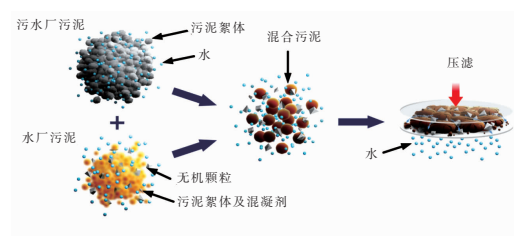


图1 压榨模式下两种污泥联合脱水铝盐对活性污泥的调理机制推测

Fig.1 Speculating mechanism hypothesis for activated sludge conditioning by alum sludge when two sludge combined dewatering under pressing mode

1.2 COD去除

李振华等^[8]把未经处理的水厂污泥通过城市污水管道直接排入污水厂,研究水厂含铝排泥水对污水厂A²/O工艺运行的影响,结果表明,含铝排泥水提高了污水厂COD的去除率,随着含铝量的增加,COD去除率也逐渐升高,最高可达87.6%。Xu等^[9]研究表明,含铝污泥对污水中的浊度、UV₂₅₄和COD的处理效率与新鲜混凝剂类似,其去除率分别达到96%、46%和53%。Jangkorn等^[10]将水厂污泥作为混凝剂处理表面活性剂废水,研究表明溶液pH值为10时,水厂污泥的吸附效果最佳,总悬浮固体(SS)、总化学需氧量(TCOD)、浊度和总阴离子的去除率分别为71.5%、76.4%、98.2%和95.4%。Basibuyuk等^[11]的研究结果表明,水厂不同来源的污泥(含铁污泥、含铝污泥和石灰污泥)均可作为良好的混凝剂,对炼油厂废水中的油脂、总固体悬浮物和COD的去除率最高可分别达到99%、83%和99%,当不同来源的水厂污泥联用时,处理效果将会增强。

1.3 除磷

李振华等^[8]的实验表明水厂铝盐污泥具有化学除磷作用,但铝盐污泥会导致活性污泥系统内的聚磷菌数量锐减。Oliver 等^[12]开展了在厌氧、好氧条件下,铝污泥对磷的吸附和释放实验,表明无论是在好氧还是在厌氧条件下,铝污泥对磷的吸附量都可以达到并且保持在 400 mg/kg 以上,即使在厌氧条件下也很少发生磷释放的现象。Babatunde 等^[13]利用批实验和连续流考察了污水中不同类型磷酸盐与不同粒径的铝盐污泥颗粒的最大吸附关系,研究表明,磷酸盐吸附容量与溶液的 pH 值呈负相关,在批试验中,溶液 pH 值从 4.3 升到 9,磷的吸附量从 3.5 降到 0.7 mgP/g,在连续流实验运行过程中,磷的去除效率随着负荷增加而降低。

1.4 对重金属的去除

不少科研工作者通过研究得出水厂污泥可以作为很好的吸附剂用于去除污水中的重金属含量。Moghaddam 等^[14]利用水厂含铁污泥(三氯化铁)作为混凝剂去除化工污水厂的 AR199 染料,表明铁的氢氧化物通过中和染料分子上的负电荷,可以去除污水中的 AR199 染料,去除率最高可达 96.53%。Hovsepyan 等^[15]研究了含铝污泥与污水中汞吸附量的关系,发现铝污泥能够有效地吸附和固定污水中的汞,其最大吸附量达到 79 mg/g,内部扩散速度是吸附的主要限制因素。Zhou 等^[16]研究了水厂含铝污泥吸附污水中的 Pb(Ⅱ)、Cr(Ⅲ)和 Cr(Ⅵ),批实验数据显示,该反应属于化学吸附,三种离子最大吸附容量顺序是 Cr(Ⅲ) > Pb(Ⅱ) > Cr(Ⅵ),吸附量与溶液 pH 值直接相关,当 pH 值从 3 上升到 6 时, Cr(Ⅲ)和 Pb(Ⅱ)的吸附量从 30% 上升至 100%,而 pH 值从 5 上升到 8, Cr(Ⅵ)的吸附量明显下降。程爱华等^[17]的研究也显示水厂污泥对 Cr(Ⅵ)有很好的吸附量。Irawan 等^[18]研究了三种水厂污泥(铝污泥、铁污泥、硅污泥)吸附污水中硼元素,表明水厂污泥对硼吸附的机理是由于静电作用和范德华力,属于物理吸附,同时污泥的组分含量和比表面积对其吸附能力也有影响。铝污泥、铁污泥、硅污泥吸附反应最佳 pH 值均为 8.3 ± 0.2 ,其最大吸附量分别为 0.980、0.700 和 0.190 mg/g。

1.5 促进活性污泥颗粒化

好氧污泥的颗粒化过程十分复杂,受多种操作参数控制^[19],其中活性污泥中的细菌群落及污泥中

的阳离子对颗粒污泥的形成有重要的影响,阳离子可以结合带负电荷的细胞形成微生物内核,加速颗粒污泥的形成^[20]。有研究发现微粉、絮凝剂也能促进好氧颗粒污泥的形成^[21],水厂污泥由于其自身的特性,也刚好具备促进好氧颗粒污泥形成的条件(见图2),水厂污泥中的无机微粒,可以结合絮状污泥细胞形成微生物内核,同时水厂污泥中带有大量金属正电荷,从而有利于吸附带负电荷的污泥和细菌,另外水厂污泥残留的絮凝剂及其产物也有利于污泥的聚集,从而加速颗粒污泥的形成,有利于提高污水厂污泥净化水体能力。

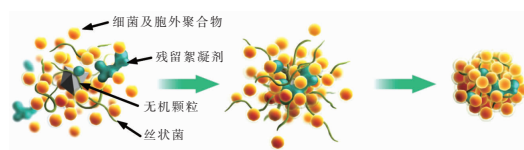


图2 自来水污泥促进好氧颗粒污泥形成推测

Fig. 2 Aerobic granular sludge formation by waterworks sludge

2 联合处理处置的主要问题

首先,两类水厂污泥联合处理,需要统筹考虑水厂污泥长距离输送问题。常见的污泥输送方式有两种,已经脱水的污泥可以用卡车运输,未经处理的排泥水可以考虑管道运输。对于大中型城市,因前期市政规划、建设问题,两类水厂通常相距比较远,若水厂污泥采用卡车运输至污水厂,相对运输量较少,若存在环境噪音、散漏等卫生问题,同时还存在车场占地和车辆维修费用,成本较高。若用管道运输水厂污泥则存在管道腐蚀问题。早年使用的运输管道多采用有衬里的延性铸铁管,部分用钢管和钢筋水泥管,这些材质均易受硫化氢腐蚀,并被确认为全球下水道恶化的主要原因之一,水务行业一直试图在硫化氢形成后才将其去除来达到缓减管道腐蚀的目的。2014年8月,Pikaar 等^[21]在美国《科学》杂志上发表研究结果,指出硫化氢腐蚀管道问题或与自来水或饮用水处理中常用絮凝剂硫酸盐有关,该团队又通过模拟研究发现,如果自来水处理过程采用不含硫酸盐的絮凝剂取代含硫酸盐的絮凝剂,可大大减少下水道混凝土管的腐蚀。可见,在水厂净化水体时使用的絮凝剂种类,直接影响后续污泥运输管道的使用寿命。

其次,水厂污泥排入污水厂,对污水厂污泥活性有影响,但影响有多大,目前还不清楚。有文献^[8]表明含铝排泥水对污水厂脱氮效果的抑制作用非常

强,平均脱氮率仅为原来的33.5%。

再次,在管理方面,如果两类水厂分属两部门或多部门,在没有供排水一体化的情况下,水务部门无法更好地统筹管理。

以上问题还需要进一步研究解决。

3 国内外应用情况

美国是研究水厂污泥和污水厂污泥联合处理最早的国家,1969年美国就有8.3%的水厂将污泥排入下水道进入城镇污水厂进行处置,同时科研工作者通过研究发现水厂污泥混入城市污水处理厂,显著降低了初沉池中有机物的含量,提高了污水厂初沉池污泥的数量。在欧洲,一些水厂由于水源较好,产泥量较少,水厂排泥水直接排入市政下水道,输送到就近的污水厂统一进行污泥处理。广东省东莞市第三水厂的排泥水,就近排入污水厂与污水厂的泥水一起处理^[22],迄今为止,两类水厂运行状况良好,水厂排泥水对污水厂泥水的浓缩及污泥的脱水都有一定促进作用。浙江省绍兴市宋六陵水厂和绍兴水处理发展有限公司(污水处理厂)从2004年开始,两类水厂污泥进行联合处理。宋六陵水厂每天产泥量为800 m³,使用聚合氯化铝作为絮凝剂;污水厂污水日处理量为90×10⁴ m³,污水前端处理絮凝剂用硫酸亚铁,处理后端用硫酸铝。两类水厂相距40 km,每天水厂沉淀池污泥直接通过混凝土管、钢管、球墨铸铁管被输送到污水泵站后送到污水厂处理,至今为止,设施运行正常,有效地解决了水厂污泥出路的难题。

4 结语

两类水厂污泥联合处理应从管理和运营的适用性、经济性及可实施性方面进一步研究和完善。对于大中型城市,水厂和污水厂之间距离较远,水厂和污水厂污泥联合处理时,两类水厂的位置布局、处理工艺上需尽早考虑,才能在运输管道上尽早定位定线。对于小城镇来说,水厂和污水厂距离较近,通过合理规划和建设,除车运污泥外,可修建水厂至污水厂的专用污泥输送管道,将水厂排泥水输送到污水厂联合处理。但运输过程中,需要考虑水厂污泥的特性以及水体净化时使用的絮凝剂种类,选择合适的管材,减少管道腐蚀,降低运营成本。

水厂污泥中较多的无机颗粒和残余药剂,会对污水厂的污泥活性有影响。因此有必要分析水厂污泥不同比例的加入,对污水厂絮状污泥的菌种分布

以及对污水处理量的影响。另外,可进一步研究水厂污泥促进污水厂絮状污泥颗粒化过程,同时两水厂污泥联合脱水的机理也值得深入探讨。

通过考察两种污泥的特性,两者在联合处理时具有一定的互补性。因此随着供排水水务一体化的形成,从体制上更有利于两类水厂污泥联合处理管理,节约污泥处理成本。

两类水厂污泥联合处理后,无机质含量明显增加,含水率可以降到60%甚至以下,一般适用于填埋、建材,不宜用于堆肥,但混合污泥的资源化发展方向还值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 戎静. 上海城市污水厂污泥处置现状研究[J]. 环境科学与管理,2016,41(4):94-97.
Rong Jing. Study on current state of sludge disposal in Shanghai urban sewage plant[J]. Environmental Science and Management,2016,41(4):94-97(in Chinese).
- [2] 刘流,李军. 城镇自来水厂污泥和污水处理厂污泥联合处理处置[J]. 净水技术,2015,34(S1):20-22.
Liu Liu, Li Jun. Combined treatment and disposal of sludge from municipal water treatment plant and wastewater treatment plant[J]. Water Purification Technology,2015,34(S1):20-22(in Chinese).
- [3] Li J, Liu L, Liu J, et al. Effect of adding alum sludge from water treatment plant on sewage sludge dewatering[J]. J Environ Chem Eng,2016,4(1):746-752.
- [4] Chen C Y, Zhang P Y, Zeng G M, et al. Sewage sludge conditioning with coal fly ash modified by sulfuric acid[J]. Chem Eng J,2010,158(3):616-622.
- [5] Zhang H, Yang J, Yu W, et al. Mechanism of red mud combined with Fenton's reagent in sewage sludge conditioning[J]. Water Res,2014,59(1):239-247.
- [6] Lin Q, Peng H, Zhong S, et al. Synthesis, characterization, and secondary sludge dewatering performance of a novel combined silicon-aluminum-iron-starch flocculant[J]. J Hazard Mater,2014,285(1):199-206.
- [7] 柳海波,张惠灵,范凉娟,等. 投加调理剂与表面活性剂对污泥脱水性能的影响[J]. 中国给水排水,2012,28(3):10-14.
Liu Haibo, Zhang Huiling, Fan Liangjuan, et al. Effect of joint action of inorganic conditioner and surfactant on dewaterability of sludge[J]. China Water & Wastewater, 2012,28(3):10-14(in Chinese).

- [8] 李振华,王丽娇,杨开,等. 给水厂排泥水对污水厂 A^2/O 工艺影响的试验研究[J]. 水处理技术,2010,36(1):78-81.
- Li Zhenhua, Wang Lijiao, Yang Kai, *et al.* Various effects on the A^2/O process wastewater treatment plant by waterworks sludge water[J]. Technology of Water Treatment, 2010, 36(1):78-81 (in Chinese).
- [9] Xu G R, Yan Z C, Wang Y C, *et al.* Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment [J]. J Hazard Mater, 2009, 161(2/3):663-669.
- [10] Jangkorn S, Kuhakaew S, Theantanoo S, *et al.* Evaluation of reusing alum sludge for the coagulation of industrial wastewater containing mixed anionic surfactants [J]. J Environ Sci (China), 2011, 23(4):587-594.
- [11] Basibuyuk M, Kalat D G. The use of waterworks sludge for the treatment of vegetable oil refinery industry wastewater[J]. Environ Technol, 2004, 25(3):373-380.
- [12] Oliver I W, Grant C D, Murray R S. Assessing effects of aerobic and anaerobic conditions on phosphorus sorption and retention capacity of water treatment residuals[J]. J Environ Manage, 2011, 92(3):960-966.
- [13] Babatunde A O, Zhao Y Q, Yang Y, *et al.* Reuse of de-watered aluminium-coagulated water treatment residual to immobilize phosphorus: Batch and column trials using a condensed phosphate[J]. Chem Eng J, 2008, 136(2/3):108-115.
- [14] Moghaddam S S, Moghaddam M R, Arami M. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology[J]. J Hazard Mater, 2010, 175(1/3):651-657.
- [15] Hovsepyan A, Bonzongo J C J. Aluminum drinking water treatment residuals (Al-WTRs) as sorbent for mercury: implications for soil remediation[J]. J Hazard Mater, 2009, 164(1):73-80.
- [16] Zhou Y F, Haynes R J. Removal of $Pb(II)$, $Cr(III)$ and $Cr(VI)$ from aqueous solutions using alum-derived water treatment sludge [J]. Water, Air, Soil Pollut, 2011, 215(1/4):631-643.
- [17] 程爱华,黄科进. 给水厂污泥吸附 $Cr(VI)$ 的性能研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(4):917-920.
- Cheng Aihua, Huang Kejin. Study on adsorption properties of $Cr(VI)$ on waterworks sludge[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(4):917-920 (in Chinese).
- [18] Irawan C, Liu J C, Wu C C. Removal of boron using aluminum-based water treatment residuals (Al-WTRs) [J]. Desalination, 2011, 276(1/3):322-327.
- [19] Abdullah N. Characterization of aerobic granular sludge treating high strength agro-based wastewater at different volumetric loadings [J]. Bioresour Technol, 2013, 127(1):181-187.
- [20] 李军,陈超,王丹君,等. 一种水晶微粉促进好氧污泥颗粒化的方法[P]. 中国专利:CN103708688A, 2014-04-13.
- Li Jun, Chen Chao, Wang Danjun, *et al.* The Invention Discloses a Method for Promoting Granulation of Aerobic Sludge by Crystal Micropowder [P]. China: CN103708688A, 2014-04-13 (in Chinese).
- [21] Pikaar I, Sharma K R, Hu S, *et al.* Water engineering. Reducing sewer corrosion through integrated urban water management[J]. Science, 2014, 345(6198):812-814.
- [22] 王磊波,张煜明,郑光荣. 自来水厂与净化厂泥水联合处理的研究[J]. 江苏环境科技, 2008, 21(4):36-38.
- Wang Leibo, Zhang Yuming, Zheng Guangrong. Study on combined treatment of muddy water from water plant and purification plant [J]. Jiangsu Environment Science Technology, 2008, 21(4):36-38 (in Chinese).



作者简介:严爱兰(1977-),女,浙江江山人,博士研究生,讲师,从事农村水环境改善及污泥处理处置研究。

E-mail:yal200@126.com

收稿日期:2017-12-13