

污泥热干燥粘结的特征和影响因素

邹淑鑫^{1,2}, 李欢², 李洋洋³, 金宜英³

(1. 青岛大学 化工与环境学院, 山东 青岛 266071; 2. 清华大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518055;
3. 清华大学 环境学院, 北京 100084)

摘要:污泥热干燥过程中在干燥设备内部表面的粘结是影响干燥设备性能的重要因素。通过热干燥模拟实验,分析了污泥含水率、加热温度、加热方式、加热界面性质等因素对污泥粘结的影响。结果表明,含水率是影响污泥粘结最主要的因素,污泥含水率较高时,粘结量较少,随着污泥干燥程度增加,含水率降低,粘结量逐渐增加,当含水率达到60%左右时粘结量达到最大,之后转而减少;加热温度不超过120℃时,温度对污泥粘结的影响不明显,加热温度高于120℃时,污泥粘结量随温度升高而显著增加;传导加热方式比对流加热方式更易导致污泥粘结;加热接触界面的表面粗糙度越大则污泥粘结量越大。

关键词:污泥;热干燥;粘结

中图分类号:X 705

文献标志码:A

文章编号:1674-4764(2012)S1-0124-03

Characteristics and Impact Factors of Sludge Adhesion During Thermal Drying

ZOU Shuxin^{1,2}, LI Huan², LI Yangyang³, JIN Yiyi³

(1. School of Chemical Engineering and Environment, Qingdao University, Qingdao 266071, China;
2. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China;
3. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Sludge adhesion on the inside wall of drying equipments may affect sludge drying performance. Effects of drying conditions on sludge adhesion were investigated by thermal drying experiments. It was found that sludge water content was the main important factor impacting sludge adhesion quantity. When sludge water content decreased with thermal drying, the adhesion quantity increased. The adhesion quantity reached the maximum value when sludge water content decreased to about 60%. The further drying reduced the adhesion quantity gradually. The heating temperature had almost no impact on sludge adhesion when the heating temperature was no higher than 120℃, while the adhesion quantity increased with the increasing heating temperature when the heating temperature was higher than 120℃. Conduction heating would lead to more sludge adhesion compared with convection heating. Rough heating interface would also help sludge adhesion.

Key words: sludge; thermal drying; adhesion

污水生物处理过程中产生大量剩余污泥,一般在污水厂脱水后外运处理。由于脱水污泥含水率仍高达80%,难以直接进行填埋或焚烧处理,因此常需要进行热干燥处理。脱水污泥经干燥后,不仅可显著减少体积,减少污泥臭味、病原菌等危害,而且干燥污泥具有多种资源化途径。因此,污泥干燥是实现污泥减量化、无害化和资源化的关键步骤。然而污泥热干燥过程中往往存在污泥粘结在干燥设备壁面上的问题^[1]。污泥粘结会降低干燥过程中热传递和污泥干燥的效率,影响污泥干燥设备的使用寿命,粘结污泥过度干燥还会增大设备起火、爆炸的风险^[2]。实践中解决污泥粘结的方法主要包括污泥返混、机械刮擦等,也有学者提出了在干燥设备壁面上附加电场减轻污泥粘附的方法^[3]。

目前许多关于污泥干化的研究提到了污泥粘结现象,但关于这一现象的研究还较少。为了获得对污泥粘结特征的深入了解,本文采用对流加热、传导加热两种方法,研究了污泥干燥的主要操作条件,如含水率、加热温度、加热方式、接触界面等因素对污泥粘结特征的影响,并对污泥粘结的主要原因进行了分析。

1 试验材料和方法

1.1 污泥来源和性质

试验所用污泥取自北京某污水处理厂的脱水污泥。该厂采用A/A/O工艺处理污水,污泥经重力浓缩后加聚丙烯酰胺(PAM)絮凝剂,并采用带式压滤机进行脱水。脱水污泥

收稿日期:2012-03-18

基金项目:国家自然科学基金项目(51008174);深圳市科技研发资金项目(JC201005270309A);固体废物处理与环境安全教育部重点实验室开放基金项目(SWMES201011)

作者简介:邹淑鑫(1986-),女,硕士生,主要从事固体废物处理与资源化利用方面的研究,(E-mail)445358171@qq.com。

含水率为 83.6%,有机质为 61.85%。

1.2 试验方法

污泥热干燥试验时,取定量污泥在干燥板上布置成直径 9 cm,厚 0.5 cm 的饼状,采用直接加热和间接加热两种方式,干燥板选用 0.8 mm 厚铁板、304 不锈钢板、316 不锈钢板等干燥设备内常用材质。直接加热时,将承托污泥的干燥板置于预先设定温度的鼓风干燥箱中进行对流加热,当污泥加热到某含水率时取出加热板,测定污泥的粘结量。间接加热时,将承托污泥的干燥板置于自动控温平板加热装置上,通过干燥板热传导加热污泥,污泥达到某含水率时取出干燥板,测定污泥粘结量。

粘结程度采用相对粘结量表示,粘结量为干燥板上单位面积残留的粘结污泥质量。粘结量测定时,模拟干燥设备中的机械刮擦方法,将干燥板上污泥加热到所需含水率,稍冷却后将干燥板翻转水平放置,粘附污泥的一面向下,干燥板一端用夹子固定并支撑,另一端搭接在刮片上,刮片沿干燥板板面自一侧向另一侧水平缓慢匀速刮擦。沿途中的刮擦力约与加热板的质量成正比。刮擦一次后称量干燥板及粘结污泥的质量,从而可计算污泥粘结量。

干燥板表面粗糙度 Ra 使用三维白光干涉表面形貌仪 (MicroXAM,美国 KLA-Tencor)检测。

2 试验结果和讨论

2.1 含水率对粘结量的影响

100 °C 直接加热时,铁制干燥板污泥粘结量随含水率变化如图 1 所示。当污泥含水率较高时,大量水的存在会导致污泥和金属界面的粘结力减少,从而在刮擦时污泥很容易被刮下,粘结量较少。随着含水率逐渐降低,污泥中的干物质与金属界面充分接触,粘结力越来越大,在刮擦过程中污泥残余量也越大。当含水率降到 60% 附近时,污泥粘结量达到最高,最高为 113 g/m²。当含水率继续减少时,污泥硬度越来越大,并有结团现象^[4],污泥与污泥之间的粘结力大于污泥与金属板的粘结力,此时污泥也较容易刮下来,污泥粘结量随含水率的降低而逐渐降低。

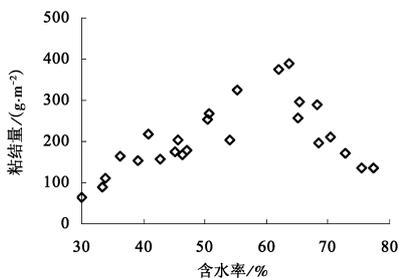


图 1 铁干燥板上 100 °C 直接加热污泥粘结量随含水率的变化

2.2 加热温度对粘结量的影响

采用 304 不锈钢作为干燥板,在 80~160 °C 直接加热,污泥粘结量变化如图 2 所示。从图中可以看出,污泥粘结量的变化可以分为两个阶段。当加热温度不超过 120 °C 时,污泥粘结量没有受到温度明显影响;当温度高于 120 °C 时,污泥粘结量随温度的升高而增加。这是由于,污泥以颗粒或菌胶团形态存在,大量具有粘性的蛋白质、多糖类物质存在于颗粒内部^[5],而当温度高于 120 °C 时,部分微生物和寄生虫

卵细胞破裂,内部有机物溢散到污泥中,温度越高越有利于有机物从污泥颗粒内部释放出来^[6],从而导致粘性物质增加,使污泥和接触界面的粘结力增大,污泥粘结量增加。当温度低于 120 °C 时,污泥中释放出来的粘性物质很少,此时温度对粘结量影响不大。

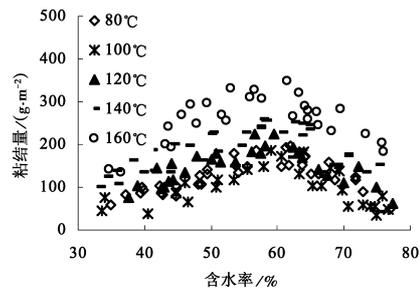


图 2 304 不锈钢干燥板上直接加热污泥粘结量随加热温度的变化

2.3 加热方式对粘结量的影响

加热温度为 120 °C,厚 0.8 mm 的 304 不锈钢分别在直接和间接加热方式下污泥粘结量变化规律如图 3。结果表明,其他条件相同时,间接加热时污泥在不锈钢板上的粘结量比直接加热时的粘结量大。直接加热和间接加热的传热方式不同,直接加热时,受热空气作用,污泥是从外向内进行干燥,含水率由外向内逐层降低,当污泥干燥到哪一层,哪一层的温度就会迅速升至污泥表面的温度^[7]。间接加热是传导受热,污泥从接触面接受热量进行干燥。在相同的 120 °C 加热温度下,相同污泥在直接加热和间接加热达到同一含水率时,间接加热方式中的接触面受到高温作用时间更长,易使更多的粘性有机物释放并粘附在接触面上,则污泥和接触面的粘性增大,粘结量增加。

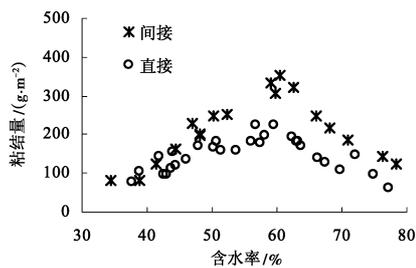


图 3 120 °C 不同加热方式下 304 不锈钢干燥板上污泥粘结量的变化

2.4 干燥界面的影响

用三维白光干涉表面形貌仪测得铁、304 不锈钢、316 不锈钢的表面粗糙度 Ra 分别是 0.828、0.149、0.198 μm。100 °C 直接加热温度时,铁、304 不锈钢、316 不锈钢的粘结量如图 4 所示。结果表明,在相同干燥条件下,污泥在铁板上的粘结量大于在不锈钢上的粘结量,不锈钢 304 和不锈钢 316 的粘结量几乎相同。考虑到铁、钢在化学组成和导热性能上的相似性,污泥的粘结量主要与材质表面粗糙度有关。表面粗糙度越大,表面的划痕和凹坑越深,则接触界面的表面能量越高,因此污泥容易在表面能量较高的点形成粘结,并围绕这一中心进一步粘结^[8]。此外,表面粗糙度高也更利于机械锚固形成的污泥粘结。对于不锈钢的 304 和 316 型号,虽然组分不同,但是由于表面粗糙度接近,所以粘结量也类似。

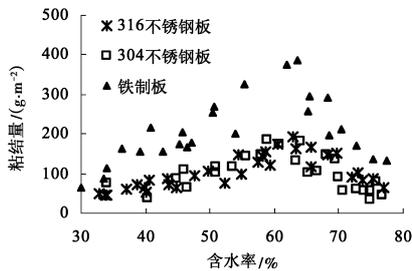


图4 100℃直接加热不同接触界面干燥板上污泥粘结量的变化

2.5 粘结的主要原因分析

固体表面一般都因范德华力存在一定的粘附能力。加热板和污泥的接触形成了粘附力产生的首要条件,再加上污泥有一定的粘性,导致粘结现象的发生^[9]。污泥颗粒由微生物、胞外聚合物和无机泥沙组成^[10],此外在脱水过程中还可能引入有机高分子絮凝剂或无机絮凝剂等。微生物活动产生胞外聚合物EPS(Extracellular Polymeric Substances),其主要成分是一些不同类型的高分子物质,如多糖、蛋白质等聚合物约占EPS总量的70%~80%^[11-12]。这些物质是具有黏着性的胶体物质^[13-14]。胞外聚合物和高分子有机絮凝剂对物体表面均有很强的吸附能力,在污泥之间和污泥与干燥器壁间起主要吸附作用。研究证明,有机质含量较高的未消化污泥粘结量大于有机质含量较低的消化污泥^[15]。

因此,适当的污泥含水率(约60%)有助于润湿表面,更好发挥粘性物质的作用,而温度升高、间接加热会使更多粘性物质释放,粗糙表面有利于粘性物质与干燥面增加接触,这是干燥条件影响污泥粘结的本质原因。

3 结论

1) 含水率是影响污泥粘结的关键因素。脱水污泥的粘结量随含水率的降低而增加,到60%附近时,污泥的粘结量达到最大,随后粘结量随含水率的降低而减少。

2) 加热温度不高于120℃时,污泥粘结量几乎不受温度影响,当温度高于120℃时污泥的粘结量随温度的升高而增加。

3) 相同加热温度时,间接加热污泥的粘结量大于直接加热。

4) 相同加热条件下,接触界面的粗糙度越大则污泥的粘结量越大。

参考文献:

[1] Ohm T I, Chae J S, Kim J E, et al. A study on the dewatering of industrial waste sludge by fry-drying technology[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 168(1): 445-450.

[2] 王伟之, 徐晖, 吴兆晴, 等. 污泥热干燥粘结的影响因素与机理分析[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(17): 1-4.

WANG Weizhi, XU Hui, WU Zhaoqing, et al. Analysis on influencing factors and mechanism of sludge adhering behavior during thermal drying[J]. *China Water and Wastewater*, 2009, 25(17): 1-4.

[3] Ma D G, Zhang S T, Li Z Y. Control of sludge-to-wall adhesion by applying a polarized electric field[J]. *Drying Technology*, 2007, 25(4): 639-643.

[4] 蒋旭光, 池涌, 严建华, 等. 污泥在流化床内燃烧过程及结团微观机理分析[J]. *燃烧科学与技术*, 1998, 4(2): 121-127.

JIANG Yuguang, CHI Yong, YAN Jianhua, et al. The combustion process in fluidized bed and agglomeration microstructure analysis for sludge[J]. *Journal of Combustion Science and Technology*, 1998, 4(2): 121-127.

[5] Flemming H C, Wingender J. Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs)-Part I: Structural and ecological aspects[J]. *Water Science and Technology*, 2001, 43(6): 1-8.

[6] WEEMAES M P J, VERSTRAETE W H. Evaluation of current wet sludge disintegration techniques[J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1998, 73(2): 83-92.

[7] 马学文, 翁焕新. 温度与颗粒大小对污泥干燥特性的影响. *浙江大学学报:工学版*, 2009, 43(9), 1661-1667.

MA Xuewen, WENG Huanxin. Effects of temperature and granule size on sludge drying characteristics[J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2005, 11(1), 96-99.

[8] 陈顺利, 王建, 刘志军, 等. Hostalen 高密度聚乙烯聚合工艺粘壁物结构剖析及原因分析[J]. *石油化工*, 2009, 38(10): 1111-1115.

CHEN Shunli, WANG Jian, LIU Zhijun, et al. Structural analysis of viscous-wall-polymer on reactor wall in hostalen high density polyethylene process; cause of formation[J]. *Petrochemical Technology*, 2009, 38(10): 1111-1115.

[9] Geng X, Deng J, Zhang S Y. Paper mill sludge as a component of wood adhesive formulation[J]. *Holzforchung*, 2007, 61(6): 688-692.

[10] Wan J, Mozo I, Filali A, et al. Evolution of bioaggregate strength during aerobic granular sludge formation[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2011, 58-59(1): 69-78.

[11] Neyens E, Baeyens J. Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 106(2-3): 83-92.

[12] Lin X M, Sheng G P, Luo H W, et al. Contribution of extracellular polymeric substances (EPS) to the sludge aggregation[J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, 44(11): 4355-4360.

[13] Larsen P, Nielsen J L, Svendsen T C. Adhesion characteristics of nitrifying bacteria in activated sludge[J]. *Water Research*, 2008, 42(10-11): 2814-2826.

[14] Pervaiz M, Sain M. Protein extraction from secondary sludge of paper mill wastewater and its utilization as a wood adhesive[J]. *BioResources*, 2011, 6(2): 961-970.

[15] 吴兆晴. 污泥粘结影响因素实验探索及粘结机理分析[D]. 天津: 天津大学, 2007.

(编辑 傅旭东)