

市政污泥混合干燥中干湿包裹的特性研究

张贵香, 薛演振, 覃日富, 赵松辉, 楼波
(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510641)

摘要: 污泥干湿混合可以降低含水率、降低粘性、提高干燥效率。在干、湿污泥质量比(干湿比)为1:2~1:7的范围内,对常规混合、湿污泥包裹干污泥(湿包干)、干污泥包裹湿污泥(干包湿)在105℃下进行了恒温干燥试验。结果表明,湿包干污泥颗粒的干燥效果比干包湿污泥颗粒的好,非混合污泥的干燥效果比干包湿的要好;湿包干的干燥效果最佳时的干湿比为1:4,这是因为干燥过程中水分存在由外向里的逆向传质,是传质和传热共同作用的结果。

关键词: 市政污泥; 混合干燥; 包裹方式; 干燥特性

中图分类号: X705 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)11-0077-05

Dry and Wet Wrapping Characteristics of Municipal Sludge Mixing Drying

ZHANG Gui-xiang, XUE Yan-zhen, Qin Ri-fu, ZHAO Song-hui, LOU Bo
(College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Mixing dry and wet sludge could reduce moisture and decrease viscosity to improve the efficiency of sludge drying. With the mass ratio of dry and wet sludge between 1:2 and 1:7, a series of sludge drying experiments were carried out under 105℃ temperature, including conventional mixing, wet sludge wrapping dry sludge, and dry sludge wrapping wet sludge. The results showed that drying efficiency of wet sludge wrapping dry sludge was better than dry sludge wrapping wet sludge. The conventional sludge showed better drying efficiency than dry sludge wrapping wet sludge. In conclusion, the drying efficiency of wet sludge wrapping dry sludge was best at a ratio of 1:4. It was because that the direction of moisture migration was from outside to inside, which was a combined outcome of mass transfer and heat transfer.

Key words: municipal sludge; mixed drying; wrapping methods; drying characteristics

污水处理厂经过机械脱水后的污泥含水率一般在75%~85%之间,含有重金属、有机质、病原体等众多对人体和环境有毒有害的成分,若不对其进行有效处理而随意排放易造成环境的二次污染^[1~4]。污泥处理与处置目标是实现污泥的减量化、稳定化、无害化和资源化,而污泥干燥是实现“四化”目标的一种较好处理方式^[4,5]。但是污泥在含水率为60%~80%时粘性大,会出现粘壁现象,进而腐蚀和卡塞

干燥设备,影响干燥设备的安全、经济运行^[6]。干湿污泥混合可以降低污泥的含水率,避开污泥的高粘壁区间,提高干燥效率,所以污泥干化设备中常采用干料“返混”^[7]。

目前对于污泥与木屑、煤、垃圾等混合的干燥方式已有相关研究^[8~10],但对于干湿污泥混合中不同混合比例对干燥特性影响的报道较少。污泥形态的不同会对干燥特性造成差异。笔者通过干湿污泥混

合可能的包裹方式探讨其干燥特性的变化,旨在为提高污泥混合干燥效率提供理论基础。

1 试验部分

1.1 试验材料和装置

污泥样品来自广州某污水处理厂机械脱水后的新鲜污泥,其C、H、O、N、S含量(以干基计)分别为22.6%、3.95%、19.68%、1.01%、0.24%;含水率为52.52%、挥发分含量为41.43%、固定碳含量为6.05%、热值为8 263 kJ/kg。污泥干燥装置如图1所示。把特定样品置于坩埚上并放在干燥箱中干燥,干燥温度维持在105℃,通过电子天平测其质量变化,数据送入计算机进行整理。

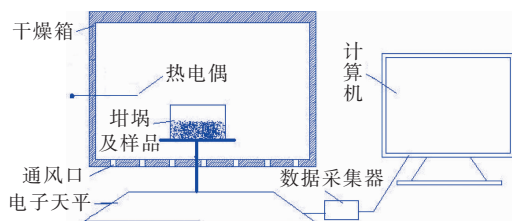


图1 污泥干燥试验装置

Fig. 1 Experiment device of sludge drying

1.2 试验方法

为了达到研究效果,设计了三类试验。污泥混合与非混合对比干燥试验(试验一):试验中混合与非混合污泥的干基含水量都为1.8 g/g,混合污泥中干污泥占30%。不同包裹方式的混合污泥干燥对比试验(试验二):以干湿比(干污泥颗粒质量与湿污泥质量之比)分别为1:2、1:3、1:4、1:5、1:6和1:7制成总质量为4 g、直径约为1.8 cm、初始含水率及质量相同的非混合污泥及混合污泥的湿包干(湿污泥包裹干污泥)或干包湿(干污泥包裹湿污泥)的球状污泥颗粒,进行干包湿混合污泥与非混合污泥以及混合污泥的湿包干和干包湿对比试验。不同厚度位置干燥特性试验(试验三):制作24颗质量为4 g、直径约为2 cm的球状湿污泥颗粒放在干燥箱中,每隔一段时间取出2颗分别测量其距表面薄层1、2 mm位置处的水分,考察水分随时间的变化。

干基含水量、污泥干燥速率的计算如式(1)、(2)所示。

$$M = \frac{m_i - m_0}{m_0} \quad (1)$$

式中, M 为干基含水量,是指每单位干污泥所

含有的水分质量,g/g; m_i 为样品干燥到第*i*时刻的质量,g; m_0 为污泥样品干燥后的质量,g。

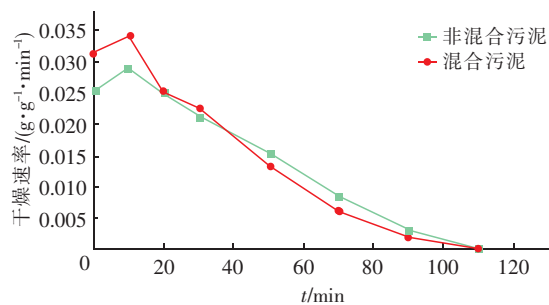
$$V = \frac{M_i - M_{i+\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

式中, V 为污泥的干燥速率,g/(g·min); $M_{i+\Delta t}$ 为干燥过程中*i*+ Δt 时刻的干基含水量,g/g。

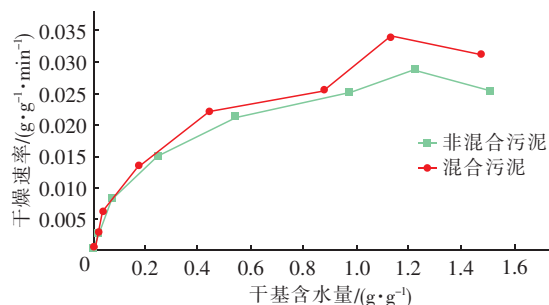
2 结果与分析

2.1 混合污泥和非混合污泥的干燥特性

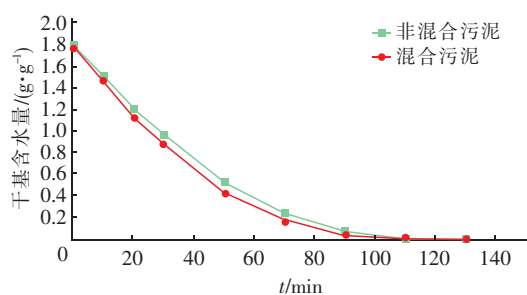
图2为干湿混合污泥与非混合污泥的干燥特性对比结果。



a. 干燥速率随时间的变化



b. 干燥速率随干基含水量的变化



c. 干基含水量随时间的变化

图2 干湿混合污泥与非混合污泥的干燥特性

Fig. 2 Drying characteristic of mixed or unmixed sludge with time

开始阶段混合污泥干燥速率明显大于非混合的,混合污泥干燥速率在10 min时为0.034 g/(g·min),非混合污泥的则为0.028 g/(g·min)。随着干燥的进行,混合污泥由于干燥速率大,水分蒸发

快,率先进入降速干燥阶段,导致 35 min 后混合污泥的干燥速率小于非混合的。整个干燥过程中,高含水率阶段的混合污泥干燥速率明显较大,但相同干基含水率下混合污泥具有更高的干燥速率。混合污泥的干基含水率随时间的变化曲线平均斜率更大,也即干燥到相同含水率时,混合污泥的干燥时间更短,其平均干燥速率大于非混合污泥。

综上可知:混合污泥的干燥效果比非混合污泥好。研究表明污泥混合会形成以干污泥为核心、湿污泥包裹干污泥现象,扩大了湿污泥与干燥介质的接触面积,减小了干燥阻力,加快了干燥效率^[11,12]。但干湿污泥混合可以是湿污泥包裹干污泥,也可以是干污泥包裹湿污泥,或者是非混合的,三者有什么区别? 基于此进行了试验二。

2.2 不同包裹方式的干燥特性

干湿比分别为 1:2 和 1:3 时干包湿混合污泥与相同质量下非混合污泥的干燥特性见图 3。可以看到非混合污泥颗粒比干包湿的干燥速率大,干燥效果好,即相同时间内非混合污泥颗粒脱除的水分更多。对试验一来说,混合后污泥干燥效率的提高不是以干包湿为主,而应该以湿包干为主。

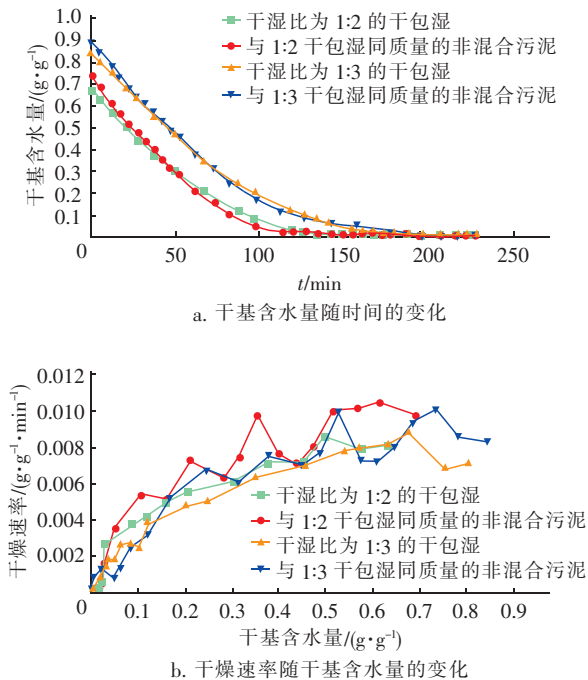


图3 不同干湿比下干包湿混合污泥与相同质量下非混合污泥的干燥特性曲线

Fig. 3 Drying characteristic curves of dry wrapping wet or unmixed sludge under different dry/wet ratio

图4为试验二结果,即不同干湿比(1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7)下不同包裹方式的干燥曲线(因为变化规律一样,文中仅列出部分曲线)。

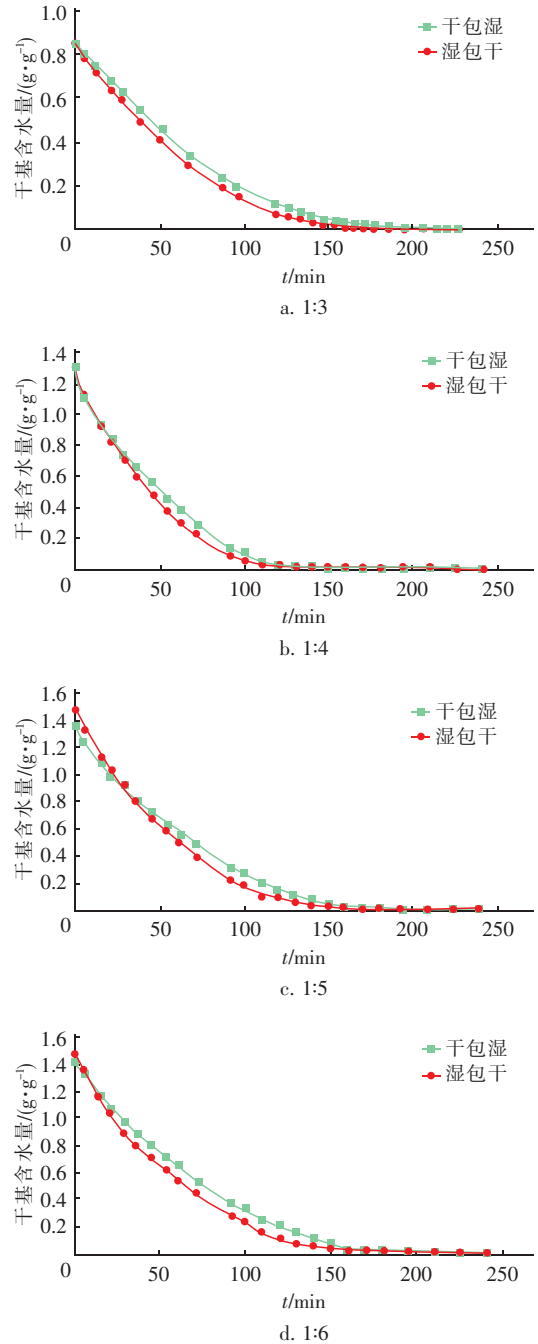


图4 不同干湿比下不同包裹方式的干燥特性曲线

Fig. 4 Drying characteristic curves of different wrapping method and different dry/wet ratio

由图4可以看出,湿包干时干基含水量变化曲线的斜率都大于干包湿的,湿包干的干燥效果更好,

干燥到相同含水率所需要的时间更短。但各种比例下干燥效果有差异,也即图中两条曲线间的差距大小不一。在干湿比为1:3、1:4、1:5和1:6时可以很明显地看到湿包干的干燥效果优于干包湿的。干湿比为1:3、1:4、1:5、1:6和1:7时,两种包裹方式下干燥速率的差距分别为0.002 556、0.006 261、0.016 64、0.012 83、0.009 649 g/(g·min),以干湿比在1:5左右时干燥效果最好。也就是说污泥干湿比在1:5左右时干包湿和湿包干干燥效果的差异最明显。

此外还考察了不同干湿比下湿包干的干燥特性曲线,见图5。可以看出,干湿比为1:4时,湿包干的干燥效果最好。

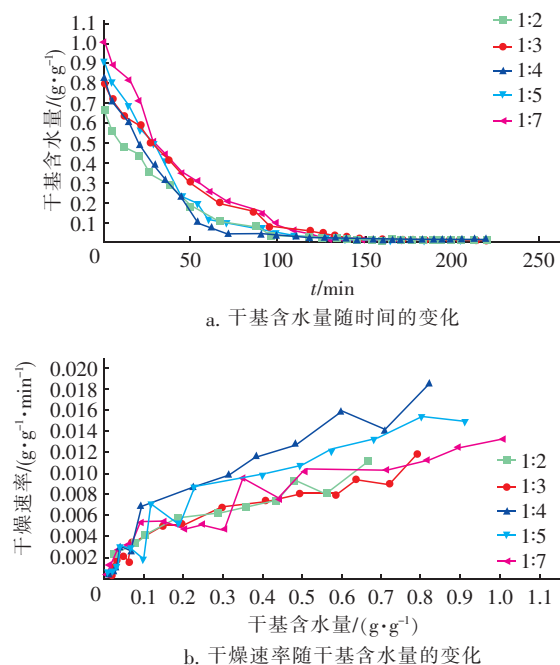


图5 不同干湿比下湿包干的干燥特性曲线

Fig. 5 Drying characteristic curves of wet wrapping dry sludge with different dry/wet ratio

2.3 污泥颗粒水分的干燥过程

污泥干燥是由传热和传质两个过程组成的,即水分由内向外迁移和热量由外向内传递^[13]。干燥过程中的恒速阶段即水分由污泥内部迁移至表面的速率大于或等于水分从表面汽化的速率,污泥表面保持完全湿润;随着干燥过程的进行,污泥内部水分迁移到表面的速率小于表面水分汽化速率,污泥表面不能再维持全部润湿,出现部分“干区”,即实际汽化表面减少,干燥进入降速阶段,这时干燥速率决

定污泥内部的传质速率;当污泥全部表面成为干区后,水分的汽化面逐渐向污泥内部移动,传热是由干燥介质空气穿过干料到汽化表面,汽化的水分又从湿表面穿过干料到空气中^[14]。这时干燥速率由污泥表面干燥介质的传热速率和内部的水传质速率共同决定。

图6为试验三结果,即污泥颗粒内部1、2 mm处污泥含水量随时间的变化曲线。可以看到,在25 min之前表面薄层1 mm和2 mm处的干基含水量近乎相同,可以认为两者此时都处于恒速干燥阶段,干燥主要集中在污泥颗粒表面,内部传质速率大于表面传热速率,干燥速率由干燥介质决定。在25~100 min之间,薄层1 mm处的干基含水量小于薄层2 mm处的,也即1 mm处的污泥水分减少量大于薄层2 mm处的。这是因为干燥进入降速干燥阶段,污泥内部水分迁移到表面的传质速率小于表面水分传热引起的汽化速率。随着干燥的进行,污泥表面不能再维持全部润湿,出现部分“干区”,但内部的水分还要不断从2 mm处传质到1 mm处后才能向外蒸发,所以100 min后薄层1 mm处的干基含水量大于2 mm处的,直到干燥结束。

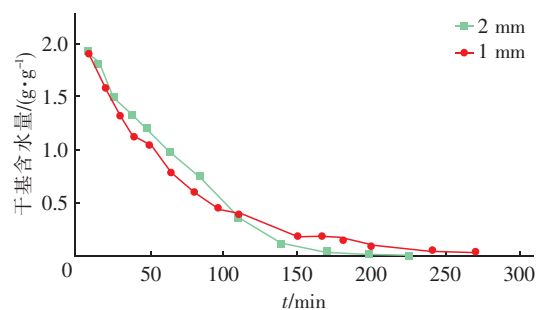


图6 污泥颗粒不同位置处干基含水量随时间的变化

Fig. 6 Change of moisture content of dry sludge at different positions

通过图6可以看到污泥的详细干燥过程,这也间接说明了湿包干、非混合较干包湿干燥效果好的原因。干包湿污泥水分要先从内部传质到外部,克服了传质阻力以后才能待汽化表面完成水分的蒸发,增加传质阻力。湿包干污泥的汽化表面积增大,减少了传热阻力,加快水分的蒸发。但湿包干污泥干燥过程中水分不仅由内向外传递,干湿交界处也存在逆向传质,即部分水分往核心干污泥上渗透,只有在外部因干燥水分较少以后才重新开始从内部向外二次水分传质,完成最后的水分传质和干燥过程。

当污泥干湿比较低时,湿包干污泥的逆向传质比较明显,对整体污泥干燥速率提高的帮助不大;而污泥干湿比较高时,湿包干污泥增加的传热表面积不大,对整体污泥干燥速率提高贡献减弱,故存在一个最佳干湿比,本研究中湿包干污泥最佳干湿比为1:4。

3 结论

① 混合污泥干燥效果比相同初始条件下的非混合污泥干燥效果要好,而非混合污泥的干燥效果比干包湿好,混合污泥中大部分形成的是以干污泥为核心的包裹污泥。

② 在干湿比为1:2~1:7的范围内,湿包干这种包裹方式的干燥效果比干包湿要好,尤其在干湿比为1:5时效果最为明显。

③ 湿包干的混合污泥在干湿比为1:4时干燥速率最大,这是因为干燥过程中水分存在由外向里的逆向传质,是由传质和传热共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 姜瑞勋,李爱民,王伟云. 脱水污泥薄层干燥特性及动力学模型分析[J]. 中国环境科学,2009,29(1):22-25.
- [2] Fytili D, Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2008, 12(1):116-140.
- [3] Li H C. Statistical dynamic features of sludge drying systems[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2007,46(8):802-811.
- [4] Li A M, Qu Y L, Cheng M T, et al. Experimental study on drying characteristics of sewage sludge[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2003,9(5):404-408.
- [5] Stasta P, Boran J, Bebar L, et al. Thermal processing of sewage sludge[J]. Applied Thermal Engineering, 2006, 26(13):1420-1426.
- [6] 吴兆晴. 污泥粘壁影响因素实验探索及粘壁机理分析[D]. 天津:天津大学,2007.
- [7] 刘欣. 印染污泥干燥特性与干燥工艺的研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.
- [8] Otero M, Sánchez M E, García A, et al. Simultaneous thermogravimetric-mass spectrometric study on the co-combustion of coal and sewage sludges[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2006, 86(2):489-495.
- [9] 武宏香,赵增立,李海滨,等. 污泥与煤、木屑的混合燃烧特性及动力学研究[J]. 环境科学与技术,2011,34(7):73-77.
- [10] Li J, Fraikin L, Salmon T, et al. Investigation on convective drying of mixtures of sewage sludge and sawdust in a fixed bed[J]. Drying Technology, 2015,33(6):704-712.
- [11] 邓文义. 污泥间接式干化机理及处置过程中污染物排放特性研究[D]. 杭州:浙江大学,2009.
- [12] 李博. 污泥高效干化方法及干化焚烧系统的优化运行研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [13] 张文丽,金建国. 等速干燥浅议[J]. 中国陶瓷,1997,33(1):16-18.
- [14] 易浩勇. 污泥干燥特性及干燥过程研究[D]. 南京:东南大学,2006.



作者简介:张贵香(1991-),女,江西宜春人,硕士研究生,研究方向为高效低污染燃烧。
E-mail:875853455@qq.com
收稿日期:2016-12-29