

# 干化温度对城市污泥热值影响的研究

范海宏<sup>1,2,3</sup>, 韩 丁<sup>2</sup>, 苏 琦<sup>2</sup>

(1. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学粉体工程研究所, 陕西 西安 710055;  
3. 陕西省生态水泥混凝土工程技术研究中心, 陕西 西安 710055)

**摘 要:**以城市脱水污泥为研究对象, 将其在不同干化温度下干化至恒重, 采用氧弹式量热计测定干污泥热值。实验结果表明, 剩余污泥比消化污泥干化恒重所需时间长; 得到干污泥挥发份存留率和干化温度(100~600℃)之间的关系, 并在两者之间进行函数拟合; 随温度升高, 两种污泥的热值都降低, 干化温度大于 350℃时, 干化污泥热值几乎为零; 污泥的适宜干化温度范围为 150~250℃, 为工业上干化处理污泥提供基本数据。

**关键词:**城市脱水污泥; 氧弹式量热计; 干化温度; 挥发份存留率; 热值

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)06-0900-05

近年来, 随着我国城市化进程的加快及城市人口的快速增加, 人们进行生产、生活产生的污水量也不断增加, 随之排放的污泥数量也呈快速增加趋势。据相关专家预测<sup>[1]</sup>, 到“十一五”末, 主要城市污水处理率 $\geq 70\%$ , 预计全国城市污水处理能力将超过  $1.0 \times 10^8$  t/d, 伴随产生的污泥(含水 80%左右)将高达  $3 \times 10^7$  t/a, 而且每年还以 10%~15% 的速度增加。西安市 2010 年污水处理规模达到  $1.57 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d, 日产污泥总量达到 1 000 t; 2020 年污水处理规模将达到  $2.70 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/d, 日产含水率 80%左右的脱水污泥量近 2000 t/d<sup>[2-3]</sup>。如不进行妥善处理, 污泥中的有害污染物必将造成二次污染。目前国内外污泥处置方法有卫生填埋、堆肥、土地利用、焚烧等, 其中焚烧被认为是最有前景的处理方法<sup>[4]</sup>。并且在“十二五”期间国家鼓励采用干化焚烧的联用方式, 以提高污泥的热能利用效率<sup>[5]</sup>。

污泥干化能起到减量化、无害化、稳定化、资源化的作用, 而其干化产品的广泛用途无疑为污泥管理体系提供了更多的灵活性和可操作性。干化污泥用作燃料是一个重要途径, 主要是利用干化污泥中的可燃成分在一定的温度下燃烧, 因此干化污泥的热值大小对其使用的影响较大。目前, 对城市污水处理厂污泥的发热量大小的分析, 通常是基于污泥焚烧、能量利用等目的<sup>[6]</sup>。污泥热值一般常采用氧弹式量热计来进行测量, 这种方法在煤炭、固体废弃物等热值分析领域有很广泛的应用。钱君律<sup>[6]</sup>等也采用氧弹式量热计对污泥样品进行了燃烧热值测定。

污泥干化过程中, 温度和时间对污泥中有机物含量会产生影响, 相应的热值也会发生变化。因此, 研究干化温度和时间与污泥热值间的关系, 对于污泥作为辅助燃料有很大的意义。但在有关污泥热值的研究中<sup>[6-10]</sup>, 一般是在 105℃ 左右烘干污泥, 而对于 105℃ 以上温度干化污泥的研究很少。为了充分利用污泥的潜在热量, 控制污泥干化过程, 有必要研究不同干化温度下的污泥热值变化情况。本文以剩余污泥和消化污泥为对象, 在不同温度将脱水污泥干化至恒重, 采用氧弹式量热计测定其热值, 进而分析干化温度对热值的影响。

## 1 实验材料及方法

### 1.1 实验方法

污泥干化: 温度分别为 100℃、125℃、150℃、175℃、200~600℃ 间隔 50℃, 每个温度下做平行试验

收稿日期: 2011-03-02 修改稿日期: 2011-10-15

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项(2010ZX07319-002); 西部建筑科技重点实验室开放研究基金项目(10kf06)

作者简介: 范海宏(1970-), 男, 陕西西安人, 副教授, 从事材料工程和固体废物资源化方向的研究。



3 组, 每组称取湿污泥质量 100 g, 放置在烘箱或马弗炉里干化至污泥恒重(临近两次称重相差不超过 0.000 5 g)时, 记录干化前后污泥质量, 计算其失重率。

热值测定: 根据 GB/T 213-2008《煤的发热量测定方法》<sup>[11]</sup>, 采用 GR3500 型氧弹式热量计测定干化后污泥的热量, 每个试样作 3 组平行试验, 取其平均值。

## 1.2 实验仪器

烘箱、马弗炉、GR3500 型氧弹式热量计、电子分析天平。

## 1.3 实验材料及其特性

实验用污泥为西安市某污水处理厂剩余污泥和厌氧消化污泥, 在空气干燥基下的工业分析和元素分析如下表 1。

表 1 污泥工业分析和元素分析

Tab. 1 Industrial analysis and ultimate analysis of sewage sludge

/%

Sample	Industrial analysis					Ultimate analysis				
	$M_{ar}$	$M_{ad}$	$V_{ad}$	$A_{ad}$	$FC_{ad}$	C	H	O	N	S
Excess sludge	86.0	2.11	65.02	27.97	4.90	30.65	6.14	20.13	3.96	1.81
Digested sludge	73.6	2.02	36.42	57.60	3.95	19.85	3.95	14.12	2.16	1.14

# 2 结果分析与讨论

## 2.1 污泥完全干化所需时间

图 1 是不同温度下污泥干化所需时间曲线。可以看出, 剩余污泥完全干化所需时间大于消化污泥, 即消化污泥更易干化。原因可能是剩余污泥的含水率和有机化合物(脂肪族、蛋白质、糖类等)含量较高, 而消化污泥经过厌氧消化处理后高分子有机化合物大量减少, 含水率也低于剩余污泥; 也可能是有机物含量高的剩余污泥表面干化后形成的干胶体层使得气体透过性较差, 造成干化传质过程减慢, 而消化污泥由于有机物含量少, 其干化表面颗粒呈较松散状态使得透气性较好, 从而造成传质过程加快。

从图中还可以看出, 剩余污泥和消化污泥完全干化时间随温度的变化趋势相似: 当温度  $< 125^{\circ}\text{C}$  时, 干化时间基本相同;  $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$  之间, 随着温度的升高, 干化时间延长; 温度在  $200 \sim 500^{\circ}\text{C}$  时, 干化时间不断减小; 温度  $> 500^{\circ}\text{C}$ , 干化时间又基本恒定。

两种污泥在低于  $125^{\circ}\text{C}$  的温度下, 完全干化时间分别是 150 min 和 120 min, 主要是污泥中各种水份的蒸发消耗时间。

而当温度升高至  $175^{\circ}\text{C}$  及  $200^{\circ}\text{C}$  时, 污泥中的水份蒸发所需时间应是缩短的, 但其中的部分有机物刚好处于开始挥发阶段, 挥发较慢, 大大延长了污泥达到恒重所需的时间。在此温度下挥发的有机物主要是恶臭物(氨、三甲胺、硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫、胺类、吡啶、粪臭素等)和低沸点脂肪族化合物的分解与挥发, 如链状烷烃、环烷烃、芳香烃、脂肪酮、苯胺类、含氮杂环化合物等。

温度超过  $200^{\circ}\text{C}$  以后, 不仅污泥中的水份蒸发更快, 其中的蛋白质和糖类化合物等高分子有机物也开始分解, 且随着温度的升高, 这些有机物分解速率提高。

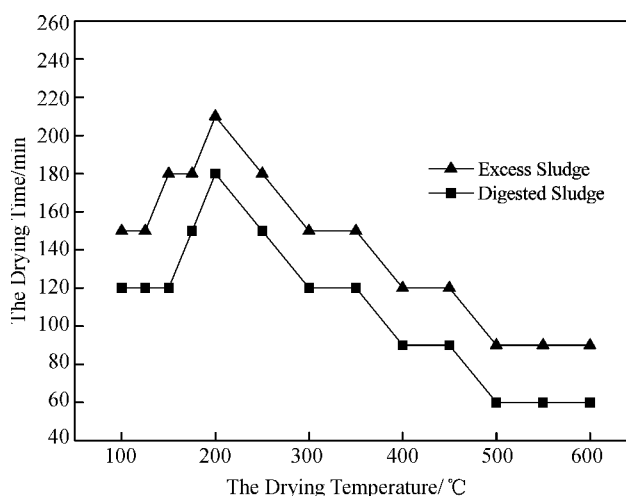


图 1 污泥在不同温度下完全干化的时间

Fig. 1 The time of sludge drying completely at different temperatures



温度继续升高至 500℃ 以上,污泥中的有机物在很短的时间内,已经能够完成分解或焚烧。

2.2 污泥中挥发份存留情况

本实验中,将污泥在不同的温度下干化至恒重,分别测定干化后污泥的挥发份含量,从而得到干污泥中挥发份存留率。干污泥中的挥发份存留率对其热值大小具有很大的影响。

图 2 是不同温度下的干污泥挥发份存留率曲线。可以看出,温度 < 450℃ 时,脱水污泥和消化污泥经过干化后,挥发份存留率随着温度的升高不断减小。说明随着温度的升高,污泥中可挥发或可分解的有机物种类不断增加;当温度 ≥ 450℃,存留率基本不发生变化,这时因为此温度下污泥中的有机物已经可以完全分解或燃烧。

从图 2 还可以看出,在 100~300℃ 的干化温度下,剩余污泥的挥发份存留率比消化污泥大,且随着温度升高,存留率的差值不断减小。如在 100℃ 时,剩余污泥和消化污泥的挥发份存留率分别是 68.9% 和 39.2%,相差 29.7%。而在 300℃ 温度下,存留率分别为 34.1% 和 23.3%,相差 10.8%;这是由于剩余污泥中的有机物种类和含量大于消化污泥。

当温度 > 300℃ 时,两种污泥中挥发份存留率基本相同,如在 350℃ 时,存留率分别为 12.7% 和 11.5%,400℃ 时,存留率分别为 3.4% 和 2.8%。

为了便于了解干污泥中挥发份存留率随干化温度的变化情况,对两种污泥分别进行了拟合,得到干污泥的挥发份存留率随着干化温度的变化趋势函数如下表 2。

表 2 干污泥挥发份存留率随干化温度变化的拟合情况

Tab. 2 The fitting of retention rate change of volatile of dried sludge and drying temperature

Sample	Fitted function	Range of temperature/℃	Coefficient of association
Excess sludge	$W=71.25-\frac{73.17T^{4.78}}{281.74^{4.78}+T^{4.78}}$	100~600	0.986
Digested sludge	$W=40.73-\frac{49.12T^{5.25}}{306.5^{5.25}+T^{5.25}}$	100~600	0.988

2.3 干化污泥的热值

图 3 是不同温度下两种污泥干化至恒重后的热值变化情况。可以看出,随着温度的升高,两种干污泥的热值总体趋势是不断减小,且剩余污泥热值大于消化污泥。干化温度为 100℃ 时,剩余污泥和消化污泥的热值分别为 16 480.76 kJ/kg 和 10 305.4 kJ/kg,而当温度为 300℃ 时,热值分别为 8 749.32 kJ/kg 和 5 127.9 kJ/kg,都约为 100℃ 干化时的一半。说明污泥在干化过程中,有机物的挥发、分解对热值的影响很大。当温度 > 300℃ 时,污泥热量已经无法顺利测定。

由图 3 还可以看出,温度为 250℃ 时,两种污泥的热值出现异常,其原因还有待于进一步的深入研究。

温度由 100℃ 升至 175℃ 时,剩余污泥和消化污泥热值分别减小 8.11% 和 7.53%,可能原因是在 100℃ 和 175℃ 下两种污泥的挥发份存留率变化不是很大。

温度由 175℃ 升至 200℃ 时,消化污泥热值减小 20.89%,而剩余污泥热值仅减少 6.8%,但消化污泥 200℃ 时挥发份存留率相对于 175℃ 的减小量比剩余污泥的少,造成消化污泥热值减小率高的原因可

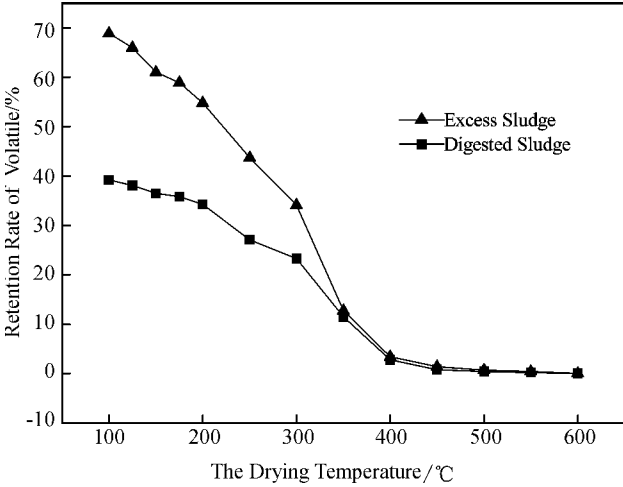


图 2 干污泥在不同干化温度下的挥发份存留率变化  
Fig. 2 Dry sludge at different temperatures retention rate change of volatile



能是此时消化污泥的挥发份具有较高的发热量。

温度由 200℃ 升至 250℃ 时,剩余污泥和消化污泥热值分别增加 4.75% 和 5.48%,可能原因是在 250℃ 挥发析出的有机物发热量较低,残留污泥中未分解的高分子有机物发热量较高;若取相同质量的污泥,在干化温度升高时,低发热量有机物不断挥发,而残留的高发热量有机物的比例不断增加,因此造成污泥热值略有增加。

温度由 250℃ 升至 300℃ 时,两种污泥热值都随着干化温度的升高而继续降低,此时污泥中的有机物分解与挥发较快,在 250℃ 以前未分解的高分子有机物开始分解挥发,所以造成热值减小。

在 300~600℃ 时,有机物的分解挥发和无机物的分解过程十分剧烈。由于实验过程中剩余污泥在 350℃ 左右燃烧及消化污泥的挥发份析出量大,导致干化后的污泥中挥发份存留率小,无法测出其热值。

从本实验可以看出,污泥在 100~250℃ 的温度下干化,其热值减小率较小,温度高于 250℃ 时,污泥的热值减小率大。因此在工业上处理污泥的过程中,应严格控制污泥干化的温度不高于 250℃。结合不同温度下的干化时间研究,温度控制在 150~250℃ 较为适宜。

### 3 结 论

(1) 剩余污泥比消化污泥干化恒重所需时间长。

(2) 剩余污泥和消化污泥的热值随着干化温度的升高逐渐减小,且剩余污泥热值高于消化污泥。在 100℃ 时,两种污泥的热值分别为 16 480.76 kJ/kg 和 10 305.4 kJ/kg;在 300℃ 时,两种污泥的热值分别为 8 749.32 kJ/kg 和 5 127.9 kJ/kg;350℃ 以上温度干化时,两种污泥基本上没有热值。

(3) 综合考虑干化时间、挥发份存留率和热值随干化温度变化情况,工业上处理污泥过程中,污泥干化的适宜温度为 150~250℃。

### 参考文献 References

- [1] 翁焕新. 污泥无害化、减量化、资源化处理新技术[M]. 北京:科学出版社,2009:6.  
WENG Huan-xin. Sludge processing technology of harmless, reduction, resource[M]. Beijing: Science Press,2009: 6.
- [2] 李彦. 西安市污水处理厂污泥组成特性及用于普通制砖处置的可行性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2009.  
LI Yan. Sludge Characteristics from Wastewater Treatment Plant in Xi'an and Feasibility of Brick-making[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2009.
- [3] 岳晓勤,李慧君,田敏,等. 西安市污水处理厂改扩建工程工艺及其系统调试[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2003,35(3):264-267.  
YUE Xiao-qin, LI Hui-jun, TIAN Min, et al. Reconstruction of Xi'an Wastewater Treatment Plant and its commissioning[J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2003, 35(3): 264-267.
- [4] 唐小辉,赵力. 污泥处置国内外进展[J]. 环境科学与管理,2005,31(3):68-71.  
TANG Xiao-hui, ZHAO Li. The development of sludge disposal strategy [J]. Environmental Science and Management, 2005, 31(3): 68-71.
- [5] 张辰. 污水处理厂污泥处理处置技术政策解读与污泥产业十二五展望[J]. 水工业市场,2010,23(4):23-27.

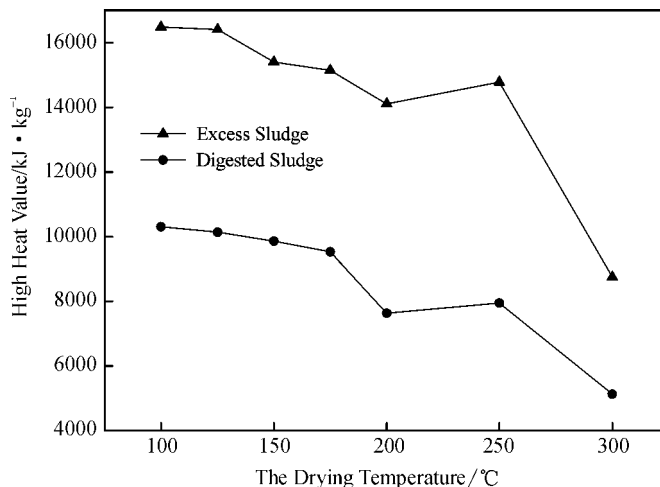


图3 干污泥高温发热量随干化温度的变化曲线

Fig. 3 The curve that the change of high heat value of dried sludge with drying of temperature



- ZHANG Chen. Sewage treatment plant sludge treatment and disposal technology policy interpretation and sludge industry of Twelve-Five year Prospects [J]. Water-Industry Market, 2010, 23(4): 23-27.
- [6] 张立峰, 吕荣湖. 剩余活性污泥的热化学处理技术[J]. 化工环保, 2003, 23(3): 146-149.
- ZHANG Li-feng, LÜ Rong-hu. Thermochemical processes for treating residual activated sludge [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2003, 23(3): 146-149.
- [7] 钱君律, 甘礼华, 李光明, 等. 上海城市污泥燃烧热的测定[J]. 实验室研究与探索, 1999(3): 49-51.
- QIAN Jun-lü, GAN Li-hua, LI Guang-ming, et al. Determination of heat of combustion for the urban sludge in Shanghai [J]. Laboratory Research and Exploration, 1999(3): 49-51.
- [8] 陈 萌, 韩大伟, 吉芳英, 等. 城市污水处理厂污泥热值及影响因素分析[J]. 给水排水, 2008, 134(14): 37-40.
- CHEN Meng, HAN Da-wei, JI Fang-ying, et al. On sludge heat value examination and its influencing factors of municipal wastewater treatment plants [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 134(14): 37-40.
- [9] LOANNIS S, DAVID M. Experimental determination of energy content of unknown organics in municipal wastewater streams [J]. J. Energy. Engrg, 2004, 130(2): 45-53.
- [10] FAURE P, VILMIN F, MICHELS R, et al. Application of thermodesorption and pyrolysis-GC-AED to the analysis of river sediments and sewage sludges for environmental purpose [J]. J Anal Appl Pyrolysis, 2002, 62(2): 297-318.
- [11] 李英华, 皮中原. GB/T 213-2008, 煤的发热量测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- LI Ying-hua, PI Zhong-yuan. GB/T 213-2008, Determination of calorific value of coal [S]. Beijing: CIS Press, 2008.

## Influence of drying temperature on the heat value of municipal dewatered sludge

FAN Hai-hong<sup>1,2,3</sup>, HAN Ding<sup>2</sup>, SU Qi<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China;

2. Powder Engineering Research Institute, Xi'an Univ. of arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

3. Shaan'xi Ecological Cement-concrete Engineering Center, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Oxygen-bomb calorimeter was used to determine the heat value of municipal dewatered sludge, which was made dry to constant weight at different temperatures. The results indicate that drying excess sludge takes more time than drying the digested sludge dried to the constant weight. There is a relationship between dried sludge weight loss rate and the drying temperature (100~600℃), and the fitting function between the two. With the increase of drying temperature, the heat value decreased. When the drying temperature is above 350℃, the heat value of dried sludge is almost zero. The optimization drying temperature range of sludge ranges between 150~250℃. Experiment provided the basic data for the treatment of the sludge drying in industry.

**Key words:** municipal dewatered sludge; oxygen-bomb calorimeter; the drying temperature; retention rate of volatile; heat value