

# 城市河道污泥处置关于污泥制陶粒性能研究

颜 建, 裴启梦

(连云港市市区水工程管理处, 江苏 连云港 222000)

**摘要:** 研究了不同高温烧结固化条件下陶粒特性变化, 陶粒的最佳烧结条件为: 烧结温度 1100℃, 剩余污泥量为 20%, 高岭土淤泥比为 0:10。高温烧结固化的陶粒, 重金属浸出满足标准国家标准 GB5085.3-007, 安全性良好。当重金属浓度高时高温烧结的固化效果依然维持在很高水平。高温烧结对重金属的固化效果, 随着烧结温度的增大和剩余污泥量的降低而提升。此工艺实现了废物资源化利用。制造费用和普通的制作粘土陶粒基本一致, 原料成本大大降低。高温烧结后陶粒强度很大, 具有较高的商业价值。

**关键词:** 污泥; 陶粒; 烧结; 资源

中图分类号: X703

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2019) 01-0043-05

## Study on the performance of sludge ceramist in urban river sludge disposal

YAN Jian, PEI Qimeng

(Lianyungang Urban Water Conservancy Project Management Department, Lianyungang 222000, Jiangsu)

**Abstract:** The characteristics of ceramist under different high temperature sintering and curing conditions were studied. The optimum sintering conditions for the ceramist were that the sintering temperature was 1100℃, excess sludge volume was 20%, and kaolin silt ratio was 0:10. The heavy metal leaching standard of ceramist solidified by high temperature sintering met the national standard GB 5085.3-007 with good safety. The curing effect of high-temperature sintering was still maintained at a very high level when the concentration of heavy metals was high. The curing effect of high temperature sintering on heavy metals increased with the increase of sintering temperature and the decrease of the amount of excess sludge. This process enabled the utilization of waste resources. The manufacturing cost was basically the same as that of ordinary clay ceramist while the cost of raw materials was greatly reduced. After high temperature sintering, ceramist had great strength and high commercial value.

**Key words:** sludge; ceramist; sintering; resources

## 1 背景

近年来, 随着国民经济的迅猛发展和人民生活水平的逐步提高, 人们的环保意识也逐渐增强, 越来越多污水处理厂的建立导致城市生活污水的处理率迅速提高, 处理过程中产生的大量污

水污泥也随之成为人们关注的焦点问题。目前全国已建成运转的城市污水处理厂约 427 余座, 年处理能力为 113.6 m<sup>3</sup>。2010 年污水排放量将达到 440×108 m<sup>3</sup>/d, 根据有关预测, 我国城市污水量在未来 10 年还会有较大增长, 2020 年污水排放量

收稿日期: 2018-08-14

作者简介: 颜建 (1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水利工程建设与管理工。

达到  $536 \times 108 \text{ m}^3/\text{d}$ 。是我国现在面临的巨大环境问题。

城市污水污泥是污水处理厂在处理污水过程中产生的含水率很高的絮状沉淀物质,实际是由污水中的悬浮物、微生物、微生物所吸附的有机物以及微生物代谢活动产物所形成的聚集物,一般是介于液体和固体之间的胶状物,可以用泵输送,但比较难以用沉降进行固液分离<sup>[1]</sup>。污泥的传统处置方法主要包括土地利用、焚烧、水体消纳和卫生填埋等。这些传统的处置方式在实际应用中发挥了一定的作用,但随着环境标准的更加严格化,其应用中的弊端就不断暴露出来了<sup>[2]</sup>。

## 2 研究方向

由于传统的污泥处置方法存在一定的局限性,并且不符合绿色发展要求从而不能广泛应用,所以寻求一种新的经济有效的处理技术具有非常重要的现实意义。从近年来污泥资源化利用研究来看,重金属的问题是污泥资源化的核心问题之一,同时也由于污泥中重金属的存在,使得利用污泥高温烧结制备建材产品成为比较适合的资源化方法。

利用污泥制备陶粒制成混凝土是一个比较可行的途径。目前陶粒广泛应用于建材、园艺、食品饮料、耐火保温材料、化工、石油等部门,应用领域越来越广,同时由于传统建材制备对粘土的大量消耗,我国粘土资源越来越紧张,因此大力开发污泥资源,并对其工艺和产品的可接受性进行系统的研究就非常及时和必要,因此确定本文的研究方向为利用污泥为主要原料制可用于建筑骨料的陶粒。

## 3 陶粒性能

陶粒,是为陶质的颗粒。陶粒的外观特征大部分呈圆形或椭圆形球体,但也有一些仿碎石陶粒不是圆形或椭圆形球体,而呈不规则碎石状,陶粒形状因工艺不同而各异。它的表面是一层坚硬的外壳,这层外壳呈陶质或釉质,具有隔水保气作用,并且赋予陶粒较高的强度。陶粒的粒径一般为  $5 \sim 20 \text{ mm}$ ,最大的粒径为  $25 \text{ mm}$ 。陶粒一般用来取代混凝土中的碎石和卵石。陶粒具有密度小、质轻;保温、隔热;耐火性好;抗震性能好;吸水率低,

抗冻性能和耐久性能好;优异的抗渗性;优异的抗碱集料反应能力和适应性强等性能,这些优异性能使它具有了其他材料无法取代的作用<sup>[3-4]</sup>。

## 4 陶粒的制备及性能分析

### 4.1 陶粒的原材料

采用高温烧结固化制作陶粒,使用的原料为经过滤袋脱水后的连云港市区河道大浦副河疏浚淤泥、高岭土(主要成分  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ )和取自连云港某污水处理厂的剩余污泥。高岭土在烧结过程中起到粘结剂的作用,剩余污泥起发泡剂的作用,联合起来实现对脱水淤泥的废物资源化利用,其具体性质见表1。

表1 原料的性质

性质	脱水淤泥	高岭土	剩余污泥
含水率(%)	59.32	14.80	85.55
有机物含量 (%VS/TS)	6.25	1.13	45.2

### 4.2 陶粒制备实验

陶粒的具体制作方法见图1。首先,将不同比例的脱水淤泥、高岭土以及剩余污泥混合搅拌  $10 \text{ min}$ 。添加少量水,制作成直径  $8 \sim 10 \text{ mm}$  的小球。然后放入烘箱中烘干后在  $400^\circ\text{C}$  下预热  $30 \text{ min}$ ,再在高温条件下烧结  $5 \text{ min}$ 。自然降温冷却后即取出制作完成的陶粒。

实验中高岭土:淤泥比例梯度设定为  $8:2$ 、 $7:3$ 、 $6:4$ 、 $5:5$ 、 $4:6$ 、 $3:7$ 、 $2:8$ 、 $1:9$ 、 $0:10$ ,均为干重比。剩余污泥添加量(占高岭土和淤泥干重和的比)设定为  $10\%$ 、 $20\%$ 、 $30\%$ 。烧结温度设定为  $1000^\circ\text{C}$ 、 $1050^\circ\text{C}$ 、 $1100^\circ\text{C}$ 、 $1150^\circ\text{C}$ 。测定不同条件下陶粒的吸水率、堆砌密度、烧失率评价陶粒的性能。选取最佳的烧结条件。

通过比较样品烧结前重金属量和烧结后陶粒的重金属浸出量分析最佳烧结条件下陶粒的重金属的固化效果。研究了不同重金属添加量下  $\text{Cu}$  ( $1 \text{ mg/g}$  原料、 $5 \text{ mg/g}$  原料、 $10 \text{ mg/g}$  原料)、 $\text{Cr}$  ( $0.1 \text{ mg/g}$  原料、 $0.5 \text{ mg/g}$  原料、 $1 \text{ mg/g}$  原料),陶粒的重金属的固化效果的变化。并在  $\text{Cu}$  添加量为  $10 \text{ mg/g}$  原料下,研究了剩余污泥添加量( $10\%$ 、 $20\%$ 、 $30\%$ )和烧结温度( $1000^\circ\text{C}$ 、 $1050^\circ\text{C}$ 、 $1100^\circ\text{C}$ 、 $1150^\circ\text{C}$ )对  $\text{Cu}$  固化效果的影响。

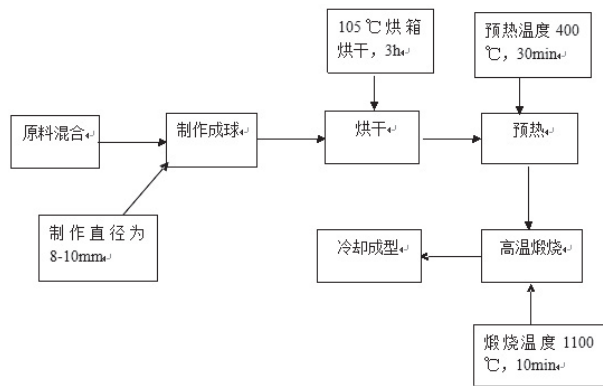


图 1 陶粒制作流程

### 4.3 陶粒的性能分析

#### (1) 吸水率

由图 2 可见,随着淤泥比重增大,吸水率下降明显,当淤高岭土淤泥比达到 4:6 后,吸水率下降趋于平缓。对比不同温度梯度下的实验发现,随着烧结温度增高,陶粒的吸水率同样下降,并在 1100℃ 时降幅最为明显,从 1100℃ 提升到 1150℃ 陶粒的吸水率下降幅度不大。例如当剩余污泥量为 10%,淤泥高岭土比为 5:5 时,烧结温度 1000℃ 时陶粒吸水率为 32.1%,1050℃、1100℃、1150℃ 时吸水率分别为 24.6%、8.3%、4.3%。

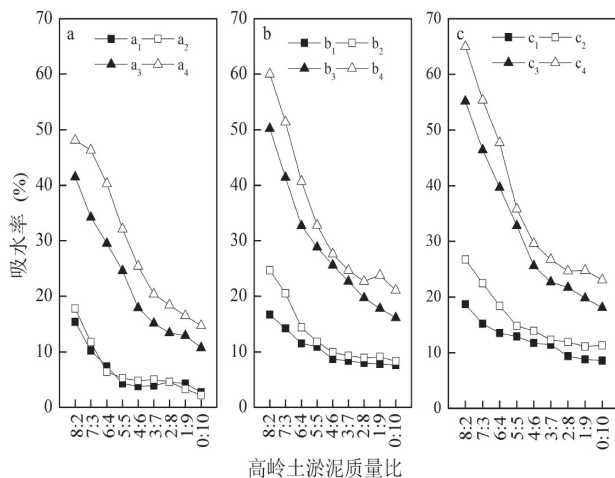


图 2 不同条件下陶粒吸水率 (a、b、c 3 图剩余污泥量分别为 10%、20%、30%,  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$  烧结温度为 1150℃,  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$  烧结温度为 1100℃,  $a_3$ 、 $b_3$ 、 $c_3$  烧结温度为 1050℃,  $a_4$ 、 $b_4$ 、 $c_4$  烧结温度为 1000℃)

对比不同剩余污泥量下的 a、b、c 3 张图。剩余污泥量越大,陶粒的吸水率越大。在烧结温度为 1100℃ 下,淤泥高岭土比为 5:5,剩余污泥量所占比例为 10%、20% 和 30% 时,陶粒的吸水率分别为 7.8%、9.9% 和 13.9%,即随着剩余污泥所占比例的增加,陶粒的吸水率将会提升。

在淤泥比重最低,烧结温度最低,剩余污泥量最低时,吸水率为 65%;当淤泥比重最高,烧结温度最高,剩余污泥量最低时,吸水率为 2.7%,分别为不同条件下的最大值和最小值。这符合以上得出结论。

#### (2) 堆砌密度

由图 3 可知不同条件下陶粒的堆砌密度的变化规律。陶粒的堆砌密度明显地受到淤泥比重、烧结温度和剩余污泥量的影响。在其它 2 个条件不变的情况下,淤泥所占比重越大,陶粒的堆砌密度越大;烧结温度升高陶粒的堆砌密度也随之升高;剩余污泥量越大,陶粒的堆砌密度越低。

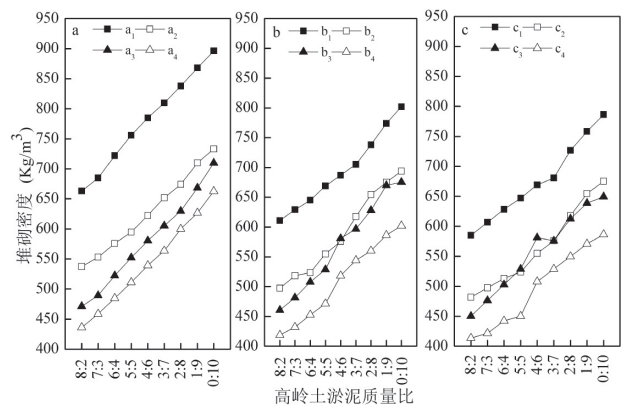


图 3 不同条件下陶粒堆砌密度 (a、b、c 3 图剩余污泥量分布为 10%、20%、30%,  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$  烧结温度为 1150℃,  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$  烧结温度为 1100℃,  $a_3$ 、 $b_3$ 、 $c_3$  烧结温度为 1050℃,  $a_4$ 、 $b_4$ 、 $c_4$  烧结温度为 1000℃)

堆砌密度基本和淤泥的比重呈线性关系。随着烧结温度提升,从 1000℃ 到 1100℃ 区间内,堆砌密度增加幅度较低,到 1150℃ 时迅速提升。

#### (3) 烧失率

不同条件下的陶粒烧失率变化见图 4。由图可知,陶粒的烧失率受剩余污泥添加量的影响明显,烧结温度和淤泥高岭土的比例对吸水率基本没有影响。剩余污泥量相同时,淤泥所占比例增加,其烧失率有小幅度的提高。

#### (4) 重金属固化性能

对陶粒原料中的主要重金属含量以及高温烧结固化后陶粒的重金属浸出量的测定结果见表 2。由表可知,高温烧结固化后陶粒浸出液中重金属的含量和陶粒原料中的含量大幅度下降,Cu、Cr、Zn、Pb、Mn 的固化率分别达到了 96.3%、98.1%、100%、100%、98.5%。陶粒浸出液中各项重金

属指标满足关于危险废物的鉴别标准国家标准 GB5085.3-2007, 重金属安全性满足要求。

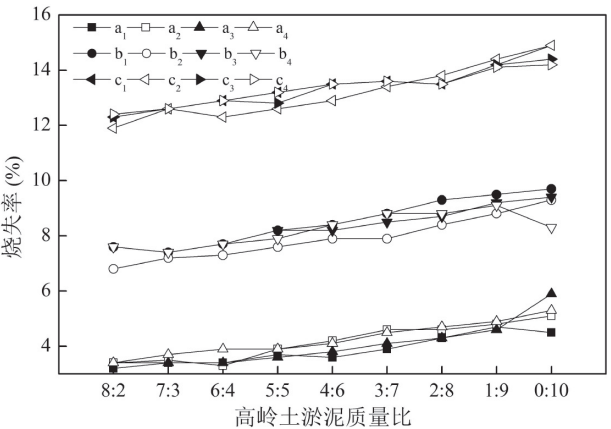


图 4 不同条件下陶粒烧失率(a、b、c 分别表示剩余污泥量为 10%、20%、30%，a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub> 烧结温度为 1150℃，a<sub>2</sub>、b<sub>2</sub>、c<sub>2</sub> 烧结温度为 1100℃，a<sub>3</sub>、b<sub>3</sub>、c<sub>3</sub> 烧结温度为 1050℃，a<sub>4</sub>、b<sub>4</sub>、c<sub>4</sub> 烧结温度为 1000℃)

表 2 原料和陶粒浸出液中重金属含量					
重金属	Cu	Cr	Zn	Pb	Mn
原料中重金属量 (mg)	0.93	0.892	0.093	0.004	0.137
浸出液中重金属量 (mg)	0.034	0.017	未检出	未检出	0.002
浸出液中重金属浓度 (mg/L)	0.340	0.17	未检出	未检出	0.020
国家标准 (mg/L)	100	100	100	5	50

但是, 由于陶粒原料中本身含有的重金属量也较低, 在处理重金属污染严重的淤泥时, 是否仍具有很好的重金属固化效果不得而知。因此, 本文研究了外加重金属条件下重金属的固化效果, 高温烧结参数为前一节得出的最佳条件。测试得出了陶粒原料在高温烧结前和高温烧结后重金属总量和重金属浸出量, 结果见图 4 ~ 5。

如上图 5 所示, 陶粒原料在进行高温烧结前, 原料中的重金属很容易从固相中浸出到水体中。Cu 和 Cr 的浸出率普遍都大于 70%。所以, 含有重金属量高的脱水淤泥若得不到妥善的处理, 其中的重金属极易重新浸出到水体中, 造成严重的环境危害。

陶粒原料经过高温烧结后, 其中的 Cr 和 Cu 的含量略有下降, 但是下降幅度不大, 在 10% 以内。

这可能是因为在高温条件下有部分重金属被挥发了, 所以在高温烧结陶粒过程中要注意对产生的尾气的严格控制。

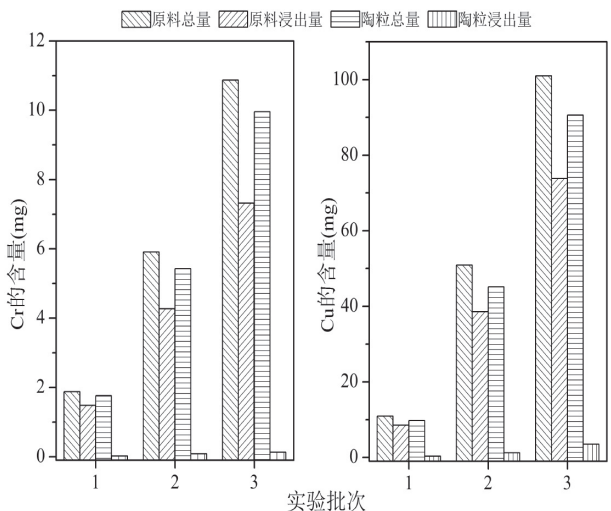


图 5 不同外加重金属量下陶粒的固化效果(不同实验批次外加重金属的量不同, 1 为 Cr 0.1mg/g, Cu 1mg/g; 2 为 Cr 0.5mg/g, Cu 5mg/g; 3 为 Cr 1 mg/g, Cu 10 mg/g)

在不同的外加重金属量下, 陶粒的重金属固化能力都具有很高的水平且基本保持不变, 重金属含量高的情况下依然维持了高的固化率。这说明陶粒的高温烧结具有良好的重金属固化效果, 对处理重金属严重污染的淤泥具有很好的重金属固化效果, 在实现危险物控制的前提下实现其资源化。

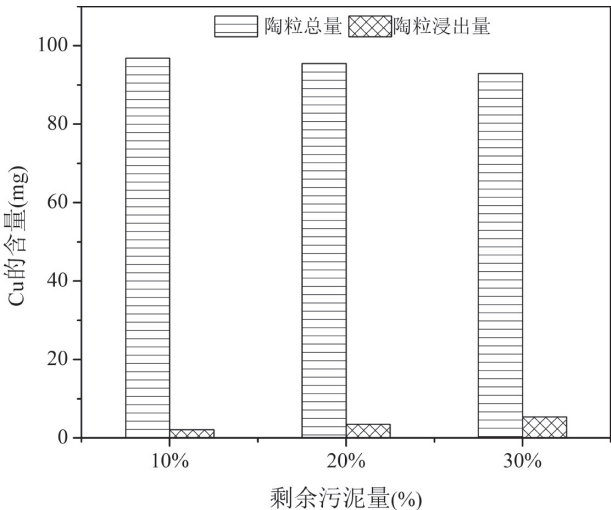


图 6 不同剩余污泥量下陶粒的固化效果

图 6 描述了不同剩余污泥量下, 陶粒的重金属固化效果变化。陶粒的高温烧结条件为烧结温度 1100℃、高岭土淤泥比为 0:10、剩余污泥量梯度为 10%、20%、30%。在剩余污泥量分别为



10%、20%、30% 时, 陶粒高温烧结过程对 Cu 的固化率分别为 97.80%、96.36%、94.26%, 固化率随着剩余污泥量的增大而降低。

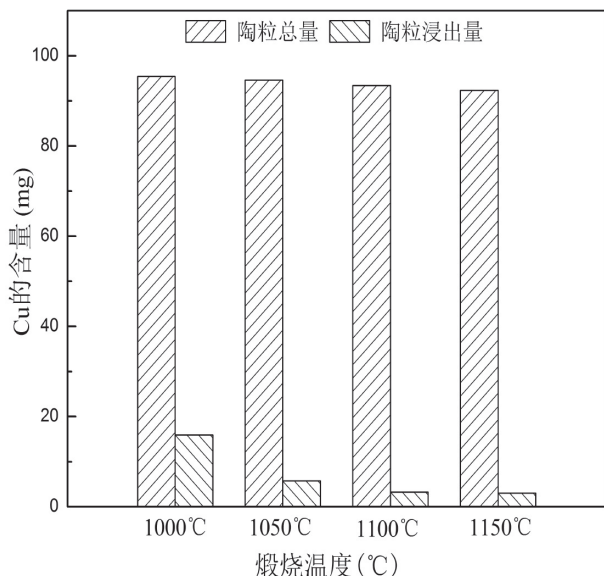


图 7 不同温度下陶粒的固化效果

图 7 描述了不同烧结温度对陶粒的固化性能的影响。烧结条件分别为: 高岭土淤泥比 0:10、剩余污泥量为 20%, 烧结温度梯度为 1000℃、1050℃、1100℃、1150℃。烧结温度 1000℃时重金属固化率为 83.3%、1050℃时固化率为 93.97%、1100℃时固化率为 96.50%、1150℃时固化率为 96.77%。说明随着烧结温度的提升对重金属的固化效果明显改善。从 1050℃到 1100℃时固化率提升效果显著, 从 1100℃到 1150℃固化率升高不明显。

陶粒对重金属的固化效果, 随着烧结温度的增大和剩余污泥的量的降低而提升, 这点和陶粒的吸水率变化趋势所一致。随着烧结温度的增大和剩余污泥量的增大陶粒的吸水率降低, 陶粒内部的空隙越多, 内部结构越不致密, 导致其中的重金属从陶粒内部浸出到水体。

## 5 结论及意义

(1) 对不同烧结条件下实验研究得出, 烧结温

度越高, 陶粒的吸水率越低, 堆砌密度越大, 烧失率基本没有变化。淤泥比重越大, 陶粒的吸水率越低, 堆砌密度越大, 烧失率也越高。剩余污泥量越大, 陶粒的吸水率越大, 堆砌密度越低, 烧失率越高。根据国家标准 GB/T17431 得出陶粒的最佳烧结条件为: 烧结温度 1100℃, 剩余污泥量为 20%, 高岭土淤泥比为 0:10。

(2) 高温烧结固化产生的陶粒其重金属浸出情况, 满足标准国家标准 GB5085.3-007, 安全性良好。重金属浓度高时其固化能力依然维持在很高水平, 说明重金属固化效果良好。陶粒对重金属的固化效果, 随着烧结温度的增大和剩余污泥的量的降低而提升, 这点和陶粒的吸水率变化趋势所一致。

(3) 此制作陶粒工艺在原料上实现了化废为宝, 在治理固废的同时, 节省了大量原料成本。制造费用和普通的制作粘土陶粒基本一致, 高温烧结后陶粒强度很大, 具有更高的商业价值, 具有推广前景。

(4) 污泥与淤泥混合烧制出的陶粒因为内部空隙的存在增加了其保温性, 可用于建筑保温材料, 从而可以缓解我过现存的污泥难以处理的问题。

(5) 由陶粒制成的陶粒混凝土由于陶粒具有保温性使其保温性强于普通混凝土, 所以可用于建筑自保温材料。

## 参考文献:

- [1] 张自杰, 等. 排水工程, 第四版 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 328-411.
- [2] 朱英, 赵由才. 污泥生物反应器填埋场中 PAHs、PCBs 含量变化及其影响因素 [J]. 生态环境学报, 2009, 18 (3): 880-884.
- [3] 尹军, 谭学军. 污水污泥处理处置与资源化利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 17-20.
- [4] 邓晓林, 王国华. 上海城市污水处理厂的污泥处置途径探讨 [J]. 中国给水排水, 2000, 16 (5): 19-22.