

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2019.12.013

免烘干脱水污泥制备陶粒的试验研究^①

朱思铭, 黎强

西南大学 工程技术学院, 重庆 400715

摘要: 采用未经烘干的脱水污泥与粘土, 利用粘土良好的吸水性, 将污泥放置于粘土中捣制并混合制备陶粒, 减少了脱水污泥在与粘土混合前需要单独对污泥进行烘干这一步骤。试验表明: 经过优化后的陶粒制备方法可以生产出性能优异的轻质陶粒。随着烧焙温度的增加, 陶粒的堆积密度减小、吸水率增大、单颗抗压强度减小; 随着污泥掺量的增加, 陶粒的堆积密度增大, 单颗抗压强度亦会增强。

关键词: 污泥陶粒; 堆积密度; 吸水率; 单颗陶粒抗压强度

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)12-0077-06

随着我国经济的发展与生产水平的提高, 污泥总量与日俱增, 而处理污泥手段有限、处理能力不足已经成为我国城市环境必须尽快解决的重要问题^[1]。目前处理污泥的方法主要有两类: 一是在专用的生产线上焚烧污泥, 但这种方法会造成粉尘、灰渣飞扬, 对环境造成污染^[2]。二是对污泥进行填埋处理, 这种方法会使污泥的有害成分对地下水造成污染, 或造成填埋场废气排放等问题。这两种处理污泥的方法都不是对环境友好的处理方法。

陶粒作为一种人造轻骨料, 具有密度小、强度高、孔隙率大、保温隔热、耐火性好、物理化学性质稳定等优点^[3-4]。目前以污泥为主要原材料烧焙陶粒已有40余年的发展历史, 最早在1973年, 挪威以当地沼泽和湖泊的淤泥为原材料, 研制出堆积密度为450 kg/m³的轻质陶粒。在此之后, 奥地利、芬兰等国家同样以当地沼泽和湖泊的淤泥为原材料, 研制出堆积密度为280 kg/m³的超轻陶粒^[5]。近年来, 以日本为代表的国家, 使用经过燃烧的污泥干粉与其他的原材料混合, 烧焙陶粒, 但污泥燃烧会产生粉尘、灰渣等污染物, 造成生态环境污染^[2]。在国内, 浙江宁波市大自然新型墙材有限公司利用低碳粉煤灰、污泥等原材料, 建成了年产5万m³的陶粒生产线, 江苏建华陶粒有限公司建成年产10万m³的陶粒生产线^[6]。这些生产方法都需要对脱水污泥在与其他辅料混合前进行烘干或者燃烧处理, 增加了污泥陶粒的生产成本, 降低了污泥陶粒的生产效率。

目前, 烧焙陶粒的流程工艺包括脱水污泥烘干、搅拌、成球、干燥、预热、烧焙。但这种污泥陶粒的生产方法步骤繁琐, 制备陶粒所需辅料价格昂贵, 造成实际生产陶粒成本过高。所以, 本文拟研究仅使用粘土和未经烘干的脱水污泥, 利用粘土良好的吸水性, 将未经烘干的脱水污泥放置于粘土中捣制并混合均匀, 优化污泥陶粒的生产步骤, 探索原料配比以及烧制温度对陶粒性能的影响。

1 烧焙污泥陶粒的原材料及试验方法

本试验研究目的是以绿色、节能为出发点, 以烧焙出的陶粒的堆积密度、吸水率与单颗抗压强度为陶粒性能指标, 研究陶粒的配比与烧焙温度对陶粒性能的影响。

^① 收稿日期: 2018-11-28

基金项目: 重庆市科技局重点产业共性关键技术创新专项 (cstc2017zdcy-zdyfx0074)。

作者简介: 朱思铭(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事建筑材料的研究。

通信作者: 黎强, 副教授, 硕士研究生导师。

1.1 试验材料

脱水污泥:取自重庆市合川区某工厂,表面呈黑褐色,含水率为 65%。

粘土:取自重庆市合川区某工厂附近,表面呈红褐色。

水:实验室自来水。

1.2 污泥陶粒的烧制流程的确定

1.2.1 料球干燥时间的确定

料球干燥的主要作用为蒸发料球中的湿存水和调和水,在干燥过程中,料球的体积会变小,质量会减轻^[6]。在试验过程中,选取 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 h 为干燥时间,根据表 1 结果并遵循绿色节能的原则,选取 2 h 为干燥时间。

表 1 干燥时间对料球的影响

试验编号	干燥时间/h	料球表面	易碎程度
1	0.5	表面湿润	极易碎
2	1	表面部分湿润	易碎
3	1.5	表面干燥	不易碎
4	2	表面干燥	坚硬
5	2.5	表面干燥	坚硬

1.2.2 料球预热温度与预热时间的确定

预热阶段的温度一般在 200 °C~400 °C,其主要目的是对料球内部的水分进行干燥蒸发^[7]。在预热过程中,料球表面的颜色会由黄褐色变为深褐色甚至黑色。由于在取料的过程中,没有将污泥进行烘干处理,仅通过简单的物理方法将粘接在一起的污泥团碾碎,所以在试验过程中为了使料球充分干燥,避免料球在高温烧焙过程中因失水过快而炸裂。所以,选择 400 °C 为预热温度,时间为 20 min。

1.2.3 污泥陶粒的制备流程

污泥陶粒的制备流程如图 1—图 5 所示,依照配比取污泥与粘土混合在一起,用较粗的棍棒反复捣制污泥与粘土,使污泥团破碎并释放出的水分以及污泥表面的水分可以被粘土充分吸收,之后再加入污泥与粘土总质量 1/8~1/10 的水并搅拌均匀,手工制成直径 10~15 mm 的料球,烘干 2h,再经过 400 °C 预热 20 min,并在马弗炉中烧焙 10 min。烧焙完成后立即取出陶粒并于室温条件下冷却。在试验中发现,在对污泥掺量为 60% 的料球进行干燥时,料球表面会发生开裂。当烧焙温度



图 1 制作陶粒的原材料

低于 1 125 °C 时,所有配比的料球基本不发生膨胀。所以,拟定试验中的污泥掺量分别为 30%, 40%, 50%, 试验中烧焙温度依次为 1 150 °C, 1 175 °C, 1 200 °C。最终确定污泥陶粒的配比与烧制流程见表 2。由图 5 可以看出,烧焙出的部分陶粒表面颜色不均,这是由于陶粒在马弗炉中的烧焙过程是静止的,而马弗炉的热源是在其顶部,造成陶粒的受热不均,发生的物化反应有所差别,使得陶粒表面颜色不均。但在实际生产过程中,工厂会采用回转炉烧焙陶粒,从而有效避免由于受热不均造成的这一现象^[8]。



图 2 原材料均匀混合



图 3 烘干后的陶粒胚体



图 4 预热后的陶粒胚体



图 5 烧焙后的陶粒

表 2 污泥陶粒配比与烧制流程

编号	污泥掺量/%	粘土掺量/%	预热温度/°C	预热时间/min	烧制温度/°C	烧制时间/min
1	30	70	400	20	1 150	10
2	30	70	400	20	1 175	10
3	30	70	400	20	1 200	10
4	40	60	400	20	1 150	10
5	40	60	400	20	1 175	10
6	40	60	400	20	1 200	10
7	50	50	400	20	1 150	10
8	50	50	400	20	1 175	10
9	50	50	400	20	1 200	10

1.3 污泥陶粒性能测试及试验方法

此次试验主要测试污泥陶粒的物理性能, 包括: 陶粒的堆积密度、吸水率以及单颗抗压强度。

1.3.1 陶粒的堆积密度

称取 1 kg 的陶粒在烘箱内干燥至恒质量, 将其填满 500 mL 的烧杯, 但在堆积密度的计算中仍然以 500 mL 为烧杯内陶粒的体积, 因此所得出陶粒的堆积密度会稍大于其真实的堆积密度。在中华人民共和国国家标准 GB/T 17431.2—2010《轻骨料及其试验方法》中, 陶粒的堆积密度越大, 其所规定的吸水率越小。所以, 依照此试验方法划定出的陶粒等级在测定陶粒的吸水率时, 亦能保证其所要求的标准不被降低。

1.3.2 陶粒的吸水率

取陶粒在烘箱内干燥至恒质量, 测定陶粒的质量, 将陶粒放入盛有水的烧杯中浸泡一小时, 并用重物将陶粒压入水中, 防止陶粒浮起。一小时之后取出陶粒并用干毛巾擦去陶粒表面的水, 再次测定所取陶粒的质量。

1.3.3 陶粒的抗压强度

采用 Yashima 提出的试验方法, 随机取 10 颗陶粒, 测定陶粒的单颗抗压强度。结果取 10 颗陶粒的平均值^[9-11]。其强度计算公式为:

$$S = \frac{2.8P}{\pi X^2}$$

S —单颗陶粒的抗压强度值, MPa; P —陶粒破坏时的荷载, N; X —上下承压板的距离, mm。

2 试验结果与分析

污泥陶粒的堆积密度、吸水率、单颗抗压强度试验结果见表 3。

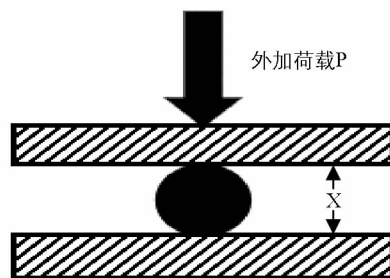


图 6 单颗陶粒抗压试验示意图

表 3 污泥陶粒试验结果

编号	污泥掺量/%	烧制温度/°C	堆积密度/kg·m ⁻³	吸水率/%	单颗抗压强度/MPa
1	30	1 150	435.1	8.0	1.26
2	30	1 175	387.8	7.0	0.97
3	30	1 200	324.7	11.2	0.78
4	40	1 150	518.0	8.9	1.52
5	40	1 175	418.1	9.1	0.99
6	40	1 200	382.4	10.3	0.79
7	50	1 150	529.8	11.7	1.68
8	50	1 175	487.6	12.6	1.35
9	50	1 200	432.7	14.3	1.09

2.1 污泥掺量与烧制温度对陶粒堆积密度的影响

由图 7 可以看出对于污泥掺量相同的陶粒, 烧焙温度越高, 其堆积密度越低. 在相同的烧焙温度下, 随着污泥掺量提升陶粒的堆积密度会增加. 在试验过程中, 对预热后相同污泥掺量并且大小基本一致的陶粒胚体, 经过烧焙的温度越高, 所得陶粒的体积会越大. 这也侧面反映了烧焙温度越高, 陶粒内部在高温环境下发生的物化反应越充分, 内部产生的 CO 与 CO₂ 越多, 陶粒膨胀越明显, 其堆积密度也会更低.

2.2 污泥掺量与烧制温度对陶粒吸水率的影响

由图 8 可以看出对于污泥掺量相同的陶粒, 烧焙温度越高, 其吸水率也会更大. 这是由于经过高温烧制的陶粒, 其表层的釉质会产生许多细小的孔隙, 随着烧焙温度的增高, 表层的孔隙的数量也会增加, 从而使得陶粒的吸水率增大.

在 GB/T 17431.1—2010《轻骨料及其试验方法》中, 对不同的密度等级的陶粒的吸水率做出了规定, 经过试验发现, 本次试验所制备的陶粒均符合 GB/T 17431.2—2010《轻骨料及其试验方法》中对陶粒吸水率的规定. 其结果如表 4.

2.3 污泥掺量与烧制温度对单颗陶粒抗压强度的影响

根据图 9 可以看出对于污泥掺量相同的陶粒, 烧焙温度越高, 单颗陶粒抗压强度会越低. 在相同烧焙温度下, 污泥掺量为 50% 的污泥陶粒的抗压强度比污泥掺量为 30%, 40% 的污泥陶粒单颗抗压强度更高.

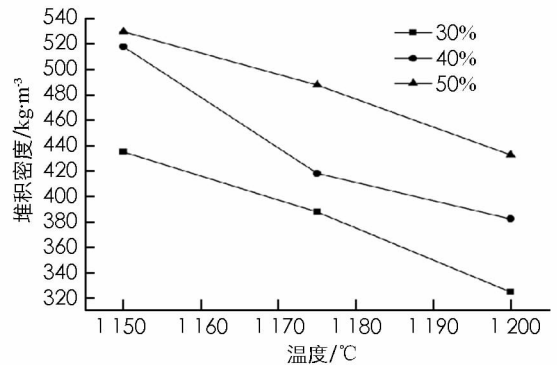


图 7 不同陶粒配比下, 烧焙温度与堆积密度的关系

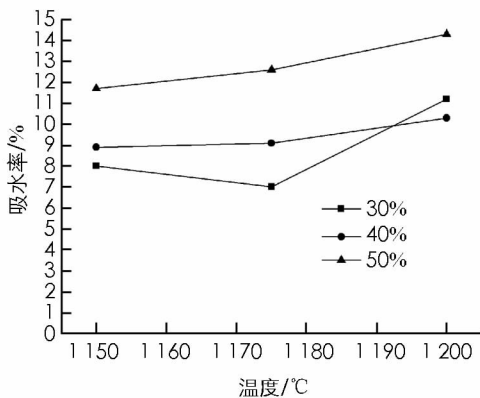


图 8 不同陶粒配比下, 烧焙温度与吸水率的关系

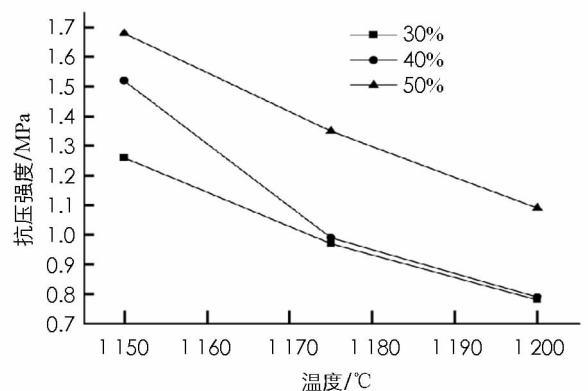


图 9 不同陶粒配比下, 烧焙温度与陶粒单颗抗压强度的关系

表 4 污泥陶粒吸水率检验表

编号	污泥掺量 /%	烧制温度 /°C	堆积密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	密度等级	吸水率 规定值 /%	吸水率 实测值 /%	是否符合标准
1	30	1 150	435.1	500	15	8.0	符合
2	30	1 175	387.8	400	20	7.0	符合
3	30	1 200	324.7	400	20	11.2	符合
4	40	1 150	518.0	600	10	8.9	符合
5	40	1 175	418.1	500	15	9.1	符合
6	40	1 200	382.4	400	20	10.3	符合
7	50	1 150	529.8	600	10	11.7	符合
8	50	1 175	487.6	500	15	12.6	符合
9	50	1 200	432.7	500	15	14.3	符合

3 结 论

1) 采用经过优化的陶粒烧焙工艺, 不需要对脱水污泥进行烘干, 将污泥与粘土混合并且使用物理方法捣制脱水污泥, 可以制备出性能优异的轻质陶粒. 这种方法相较于传统方法, 减少了在脱水污泥与粘土混合前需要对脱水污泥进行烘干这一步骤, 同时也减少了制备陶粒的需水量, 提高了陶粒生产效率, 达到了节能环保的目的.

2) 在污泥掺量相同的情况下, 随着烧焙温度的增加, 其堆积密度会减小, 吸水率增大, 单颗陶粒的抗压强度降低.

3) 在烧焙温度相同的情况下, 随着污泥掺量的增加, 其堆积密度会增大, 吸水率总体增大, 单颗陶粒抗压强度增强.

4) 利用脱水污泥与粘土制备陶粒, 在解决了工厂污泥出路问题的同时, 避免使用膨润土、高岭土等价格较高的原材料, 取得了良好的经济效益与环境效益.

参考文献:

- [1] 王崇均, 彭 怡, 谭雪梅, 等. 低有机质剩余污泥微波法制备活性炭及其吸附性能研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(1): 159-163.
- [2] 王乐乐, 杨鼎宜, 刘亚东, 等. 轻质污泥陶粒研制及其膨胀机理的探讨 [J]. 混凝土, 2013(4): 40-43.
- [3] 卢徐节, 米 铁, 刘延湘. 城市污泥焙烧陶粒的试验研究 [J]. 工业安全与环保, 2013, 39(12): 4-6.
- [4] 季维生. 700 密度等级渣土陶粒制备及其性能研究 [J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(7): 2209-2214.
- [5] XU G R, ZOU J L, LI G B. Stabilization of Heavy Metals in Sludge Ceramsite [J]. Water Research, 2010, 44(9): 2930-2938.
- [6] 樊 臻. 污泥陶粒的制备及其机理研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2015.
- [7] 王乐乐. 污泥陶粒的研制与生产研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2014.
- [8] 陈 超. 市政污泥制备陶粒的试验研究 [J]. 粉煤灰, 2015, 27(5): 29-32.
- [9] 邓宏卫, 杨英姿, 巴恒静, 等. 烧胀助剂对高强粉煤灰陶粒性能的影响 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2008, 38(S2): 102-106.
- [10] LI Y D, WU D F, ZHANG J P, et al. Measurement and Statistics of Single Pellet Mechanical Strength of Differently Shaped Catalysts [J]. Powder Technology, 2000, 113(1): 176-184.

- [11] YASHIMA S, KANDA Y, SANO S. Relationships Between Particle Size and Fracture Energy or Impact Velocity Required to Fracture as Estimated From Single Particle Crushing [J]. Powder Technology, 1987, 51(3): 277-282.

Experiment Study on Usage of Dry-Free Dewatered Sludge to Make Ceramsites

ZHU Si-ming, LI Qiang

College of Engineering and Technology, Southwest University, 400715, China

Abstract: By using dry-free dewatered sludge and clay to ram and mix the sludge with the clay by the good water absorption of clay, the step has been reduced that dewatered sludge needs to be dried separately before mixing with clay. The experiment results show that the light weight ceramsites with excellent properties can be produced by the optimized preparation method. With the increase of firing temperature, the bulk density of ceramsics is decreased, the water absorption is increased, and the compressive strength of the individual is decreased. With the increase of sludge content, the bulk density of ceramsite is increased and the compressive strength of single particle is increased.

Key words: sludge ceramsite; bulk density; water absorption; compressive strength of single ceramsite

责任编辑 汤振金