

盾构泥基陶粒的制备及其吸附性能研究*

陈攀, 杨磊, 孙伟, 刘航, 柴旭建

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 针对盾构泥含水率高以及综合利用的问题, 研究了 pH 值、助滤剂种类 (GPB、粉煤灰、石膏、谷糠) 和压力对含水率影响, 以及加入添加剂 (AlCl_3 、 ZnCl_2 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 NH_4HCO_3) 烧制成陶粒对亚甲基蓝溶液 COD 去除的效果。试验结果表明, 4 种助滤剂中改性酰胺絮凝剂 (GPB) 能更有效地降低盾构泥的含水率; 在 pH 值为 4 且压力值为 800 Pa 的条件下, 加入 GPB 可以将含水率值从 38.89% 降至 24.40%; 添加剂筛选试验表明, 通过添加 NH_4HCO_3 烧制的陶粒能有效降低亚甲基蓝溶液的 COD; 添加剂用量试验表明, 通过添加 10% NH_4HCO_3 焙烧而成的陶粒能够将亚甲基蓝溶液中的 COD 值从 162.75 mg/L 降到 90.64 mg/L。

关键词: 盾构泥; 脱水; 陶粒; 吸附

中图分类号: X734 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2019)03-0155-05

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.03.024

Study on Dehydration and Comprehensive Utilization of Shield Mud-based Ceramsites

CHEN Pan, YANG Lei, SUN Wei, LIU Hang, CHAI Xu Jian

(School of Mineral Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Aiming at the problems of high water content and comprehensive utilization of shield mud, we studied the effects of pH, type of filter aid (GPB, fly ash, gypsum, chaff) and pressure on the moisture content as well as the removal of COD from methylene blue solution by sintered ceramsites with additives (AlCl_3 , ZnCl_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , and NH_4HCO_3). The results showed that the modified amide flocculant (GPB) could reduce the moisture content of shield mud effectively in the four kinds of filter aid. Under the condition of pH value of 4 and pressure of 800 Pa, adding GPB could reduce the moisture content from 38.89% to 24.40%. Screening test results for additives shown that the sintered ceramsites made by adding NH_4HCO_3 could reduce COD of methylene blue solution effectively. The additive dosage test showed that the sintered ceramsites made by adding 10% NH_4HCO_3 could reduce the COD of methylene blue solution from 162.75 mg/L to 90.64 mg/L.

Key words: shield mud; dehydration; ceramsites; adsorption

根据《城市轨道交通 2018 年度统计和分析报告》,截至 2018 年底,中国大陆地区共有 35 个城市开通城市轨道交通运营线路,其中地铁运营线路 4 354.3 km,占比 75.6%;有 53 个城市在建地铁线路规模达 5 315.6 km,规划地铁线路总长达 6 118.8 km。地铁给我们带来便利出行的同时,其建设往往

会产生大量的高含水率盾构泥,盾构泥的高效脱水以及产生固废的合理利用是地铁建设可持续发展亟待解决的难题^[1]。

目前国内针对盾构泥水的处置方式大多是如图 1 所示,直接外运至渣土收纳场进行简单粗颗粒筛分处理后,粗粒用作建材,细粒在沉降脱水后运往堆

* 收稿日期:2019-04-22

基金项目: 中国博士后科学基金(2019M650188);湖南省自然科学基金青年(2018JJ3665);国家自然科学基金青年基金(51504290);国家重点研发计划项目(2018YFC1901601);国家重点研发计划项目(2018YFC1900305)

作者简介: 孙伟(1973-),男,教授,博士研究生导师,研究方向为矿物加工理论与工艺。

场晾晒,但是由于盾构泥中含水率通常高于 80%,造成运输成本居高不下,而到目前为止,还未见可实现泥水在施工坑口快速分离技术的报道^[5]。为解决盾构泥脱水效率低的问题,国内学者主要通过絮凝过滤的方法加速脱水过程,但脱水后盾构泥的含水率依然较高^[2-4]。

盾构泥成分与淤泥、污泥等类似,元敬顺等^[6]研究了提高淤泥掺量以取代页岩掺量对陶粒性能的影响,刘爽等^[7]研究了以污水厂污泥、河道淤泥和粉煤灰为原料,制备陶粒轻集料的配方和技术参数。另外考虑到盾构细泥比表面积大,吸附能力强,将其制备成陶粒用于工业水处理领域,会具有极高的社会效益和经济效益^[8-9]。

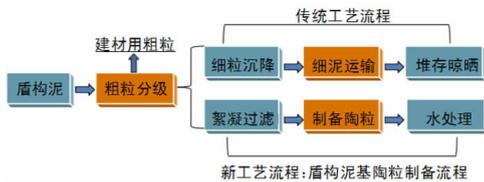


图 1 盾构泥处理流程
Fig. 1 Treatment process of shield mud

本文以湖南某地铁盾构泥为原料,提出了与传统工艺流程不同的新工艺流程,研究了在不同助滤剂条件下盾构泥过滤脱水后的含水率以及以其为原料烧制成陶粒进行水处理的效果。

1 原料性质及试验方法

1.1 原料性质

试验所用盾构泥原料取自湖南某地铁线,原料矿物组成分析见表 1,原料粒度分布见表 2,原料的 X 射线衍射图谱见图 2。

表 1 原料矿物组成分析结果 /%
Table 1 Analysis results of mineral composition of raw materials

| 成分 | 石英 | 云母 | 高岭石 | 赤铁矿 | 褐铁矿 |
|------|-------|------|-------|------|------|
| 含量/% | 34.74 | 8.49 | 42.62 | 9.53 | 4.62 |

表 2 原料粒度分布 /%
Table 2 Particle size distribution of raw materials

| 粒级/mm | +0.83 | -0.83+0.074 | -0.074 |
|-------|-------|-------------|--------|
| 产率 | 59.05 | 8.56 | 32.79 |

由表 1、表 2 和图 2 可知,原料主要成分为石英跟高岭石,两者含量相加可达 80% 左右,且盾构泥原料的粒度较粗。

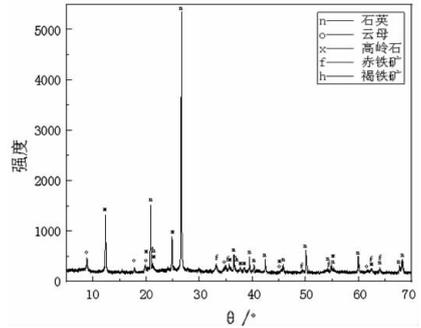


图 2 盾构泥的 X 射线衍射图谱
Fig. 2 X-ray diffraction pattern of shield mud

1.2 药剂仪器

过滤脱水试验用的 pH 值调整剂为硫酸和氢氧化钠,均为分析纯;粉煤灰主要成分为 SiO₂ 和 Al₂O₃,含量分别为 60.21% 和 31.29%,石膏主要成分为无水硫酸钙,含量为 92.31%,谷糠主要成分是稻壳,pH 计是 pHS-3E 型;干燥箱是 101-2A 型电热鼓风干燥箱;焙烧炉是 RSY-12-TB 型氧化、还原高温反应装置;恒温振荡器是 SHA-82A 数显水浴恒温振荡器;COD 测试仪是 HACH-DR 3900。

1.3 试验方法

过滤脱水试验:首先将盾构泥筛分,取 -200 目粒级的盾构泥浆 1L 于烧杯中,分别添加 5g 的 GPB、粉煤灰、石膏、谷糠,调节 pH 值为所需值后搅拌 5 min,然后过滤称量滤饼质量,此质量为湿重,将样品放入 50℃ 烘箱中烘至样品质量不再变化,称量滤饼质量,此质量为干重,由此根据式(1)计算含水率(注:盾构泥原料含水率为 46.52%)。

$$\text{含水率}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \quad (1)$$

式中: m_2 —盾构泥湿重,g, m_1 —盾构泥干重,g。

陶粒的制备试验:取 10 g 脱水烘干后的盾构泥分别与 0.5 g AlCl₃、ZnCl₂、Fe₂O₃、Fe₃O₄、NH₄HCO₃ 以及适量的水混匀搅拌制成球,然后放入到 105 ± 5℃ 的烘箱中脱水 2 h,之后将其取出放入到焙烧炉中,预热温度为 500℃,持续时间为 20 min,焙烧温度为 1 230℃,持续时间为 15 min。

吸附试验:称取 1.191 g 亚甲基蓝溶于 1 L 蒸馏水中配成 1 000 mg/L 的亚甲基蓝标液,取 50 mL 100 mg/L 的亚甲基蓝溶液于 250 mL 锥形瓶中,称取 5 g 陶粒于锥形瓶中,将其置于恒温振荡器,设定转速为 120 r/min,等温震荡时间为 3 h,将震荡后的溶液通过离心

机,在3 000 r/min下运行10 min,取上清液测COD。

2 试验结果与讨论

2.1 过滤脱水试验

2.1.1 pH值试验

在无压力无添加剂条件下,用氢氧化钠和硫酸调整盾构泥浆的pH值,考察盾构泥浆的pH值对其过滤脱水后含水率的影响。如图3所示,在pH值大于4时,盾构泥过滤脱水后的含水率随着pH值的升高逐渐增加,当pH值小于4时,盾构泥过滤脱水后的含水率变化不大,所以pH值小于4有利于降低盾构泥过滤脱水后的含水率,因此后续脱水过滤试验均选择pH值为4。

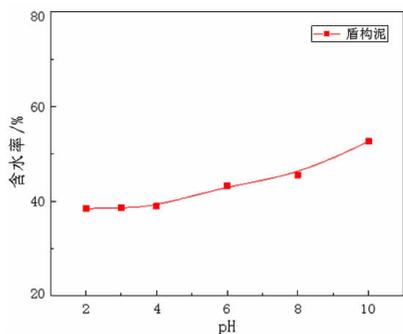


图3 pH值对盾构泥过滤脱水后含水率的影响

Fig. 3 Effect of pH on the moisture content of shield mud after filtration and dehydration

2.1.2 助滤剂种类试验

在调节盾构泥浆的pH值为4以及无压力的条件下,比较加入GPB、粉煤灰、石膏、谷糠对盾构泥脱水过滤后含水率的影响,试验结果见图4。

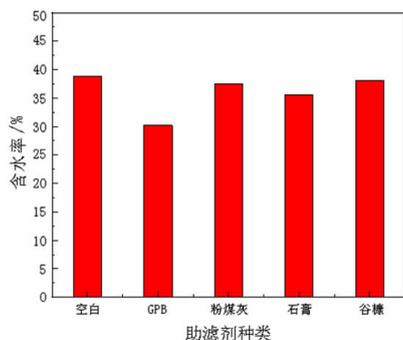


图4 不同助滤剂条件下盾构泥过滤脱水后含水率(pH=4)

Fig. 4 Moisture content of shield mud after filtration and dehydration under different filter aids (pH = 4)

从图4可以得出,粉煤灰、石膏以及谷糠对降低盾构泥含水率的影响不太明显,这可能是因为在含水率不高的情况下,水分主要以结合水为主,即使过滤时加入这些助滤剂后在烘箱里干燥也无法将结合水去掉^[10]。效果最佳的GPB能将其含水率从38.89%降至30.23%,这可能是因为在通过添加助滤剂可以提高盾构泥的沉降性能,破坏盾构泥固体颗粒外胞外聚合物结构进而释放盾构泥中的结合水^[11]。

2.1.3 过滤压力试验

由图4可知,在pH值为4且有助滤剂条件下,过滤脱水后的含水率在添加GPB时效果较好。因此,在pH值为4且添加GPB的条件下,考察压力大小对盾构泥过滤脱水后含水率的影响,结果如图5所示。

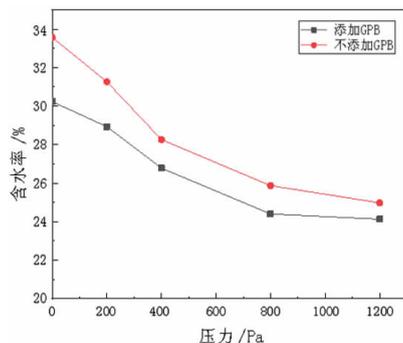


图5 不同压力条件下盾构泥过滤脱水后含水率(pH=4)

Fig. 5 Moisture content of shield mud after filtration and dehydration under different pressures (pH = 4)

由图5可以看出,在pH值为4时,无论是否添加GPB,盾构泥过滤脱水后含水率均会随着压力的增大而减小,这说明在压力有利于盾构泥脱水。在添加GPB的基础上再施加不同压力,盾构泥过滤脱水后含水率会相应的进一步降低。

2.2 陶粒的制备与应用

2.2.1 陶粒的制备

温度是陶粒制备的关键因素。焙烧前的预热是为了除去坯体中残余的水分,为生料球表层的软化做准备,同时降低烧胀前料球中碳元素的质量分数,以达到最佳烧胀的效果。升温速率以及焙烧温度都会影响最终烧制的陶粒性质^[12-13]。所以,在经过一系列的试验后,确定了预热温度为500℃,持续时间为20 min,焙烧温度为1 230℃,持续时间为15 min的方案,最终烧制的一种陶粒见图6。



图6 陶粒
Fig. 6 Ceramsites

2.2.2 陶粒在亚甲基蓝溶液中的吸附试验

陶粒由于具有比表面积大、丰富的孔隙结构以及低污染等特性被广泛的应用于水处理中^[14]。因为亚甲基蓝中含有的 S 原子易与 Fe、Al、Zn 原子结合, NH_4HCO_3 会受热分解在陶粒内部产生孔, 故选择在盾构泥中添加 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 AlCl_3 、 ZnCl_2 、 NH_4HCO_3 来烧制陶粒。BET 法测试结果表明, 未加入添加剂烧制而成的陶粒比表面积为 $0.309 \text{ m}^2/\text{g}$, 孔容为 $0.002 \text{ cc}/\text{g}$, 孔径为 4.221 nm , 加入 10% 用量的 NH_4HCO_3 烧制成的陶粒比表面积为 $6.376 \text{ m}^2/\text{g}$, 孔容为 $0.154 \text{ cc}/\text{g}$, 孔径为 140.262 nm , 以盾构泥为主要原料烧制的陶粒降低亚甲基蓝 COD 值的试验结果见图 7。

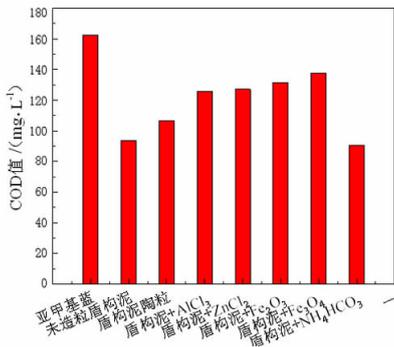


图7 不同陶粒对亚甲基蓝处理后的 COD 值
Fig. 7 COD of methylene blue treated by different ceramsites

从图 7 可以看出, 只以盾构泥为原料烧制而成的陶粒就可以将亚甲基蓝的 COD 值从 $162.75 \text{ mg}/\text{L}$ 降到 $106.67 \text{ mg}/\text{L}$, 而加入 AlCl_3 、 ZnCl_2 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 混合烧制成的陶粒处理后 COD 值反而高于 $106.67 \text{ mg}/\text{L}$, 这可能是因为加入这些药剂后不利于陶粒内部孔的产生; 加入 NH_4HCO_3 与盾构泥混合焙烧后, 能将 COD 值进一步降低到 $90.64 \text{ mg}/\text{L}$, 这可能是因为加入 NH_4HCO_3 会让陶粒内部产生更多的孔,

有利于对亚甲基蓝的吸附; 直接以相同质量的 -200 目盾构泥对亚甲基蓝吸附效果比造成陶粒之后效果好, 但是陶粒在吸附后更容易与溶液分离, 未造粒的盾构泥与溶液分离极为困难。

根据图 7 得出的结论, 对 NH_4HCO_3 的用量进行了进一步探讨。仍按照上述介绍中制备陶粒的方法, 不同 NH_4HCO_3 用量焙烧而成的陶粒处理亚甲基蓝后的 COD 值见图 8。

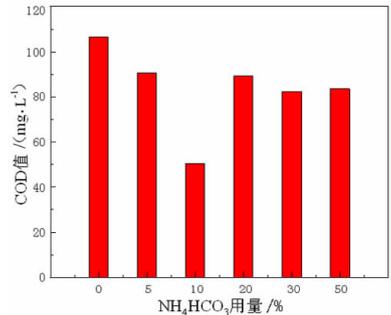


图8 不同 NH_4HCO_3 用量的陶粒对亚甲基蓝处理后的 COD 值
Fig. 8 COD of methylene blue treated by ceramsites with different NH_4HCO_3 dosage

从图 8 可以看出, 10% 用量的 NH_4HCO_3 效果最佳, 能将亚甲基蓝溶液的 COD 值从 $162.75 \text{ mg}/\text{L}$ 降至 $50.21 \text{ mg}/\text{L}$, 而随着 NH_4HCO_3 用量的增加, 反而亚甲基蓝溶液的 COD 值又变大, 这可能是因为 NH_4HCO_3 用量过大, 造成陶粒内部的气孔过大而不利于吸附亚甲基蓝。

3 结论

(1) 过滤脱水试验表明, pH 值低于 4 的条件下盾构泥过滤后的含水率低, 此时, 添加 GPB 和添加压力均可以有效地降低盾构泥过滤后的含水率。

(2) 陶粒在亚甲基蓝溶液中的吸附试验表明, 在 AlCl_3 、 ZnCl_2 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 以及 NH_4HCO_3 这 5 种药剂中, 添加 NH_4HCO_3 烧制的陶粒能有效降低亚甲基蓝溶液的 COD; NH_4HCO_3 用量为 10% 焙烧而成的陶粒能够比其他用量更好的去除亚甲基蓝溶液中的 COD。

参考文献:

[1] 刘淑娟. 咸阳市地铁建设对城市环境景观的影响分析研究 [J]. 环境科学与管理, 2017, 42(7): 57-61.
[2] 师雯洁, 程文, 任立志, 等. 地铁施工废弃泥浆处理试验研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(1): 141-145.

- [3] 梁止水,杨才千,高海鹰,等. 建筑工程废弃泥浆快速泥水分离试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2016,46(2):427-433.
- [4] 李旭. 泥水盾构废弃泥浆絮凝脱水试验研究[J]. 铁道建筑,2018,58(5):144-147.
- [5] 周昊宸,周向清. 盾构泥水固液快速分离用改性无机絮凝剂及改性方法和应用:108975474A[P]. 2018-12-11.
- [6] 元敬顺,赵立会,李振华,等. 淤泥对污泥、粉煤灰-页岩陶粒性能的影响[J]. 河北建筑工程学院学报,2016,34(3):52-55.
- [7] 刘爽,支家强,吴鹏,等. 污水厂污泥与河道淤泥联合烧制陶粒的技术研究[J]. 砖瓦,2017(7):18-24.
- [8] 张卓,张峰君,谢发之,等. 盾构渣土基免烧免蒸陶粒固化重金属离子研究[J]. 广州化工,2015,43(9):51-53.
- [9] 郝彤,王帅,李鑫箫,等. 利用盾构渣土制备水泥混合材的可行性研究[J]. 硅酸盐通报,2019,38(4):1018-1023.
- [10] 韩婷婷,吴思麟,吕一彦. 泥浆中水分形态对抗剪强度与流变性的影响[J]. 长江科学院院报,2018,35(2):104-108.
- [11] Neyens E, Baeyens J, Dewil R, et al. Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering[J]. Journal of hazardous materials, 2004, 106(2-3):83-92.
- [12] 林春绵,王建超,甄万顺. 利用污泥烧制陶粒滤料的实验研究[J]. 浙江工业大学学报,2018,46(5):585-590.
- [13] 魏博,张一敏,包申旭. 煅烧制度对高岭土活性及地聚物性能的影响[J]. 非金属矿,2016,39(4):31-34.
- [14] 李天鹏. 新型陶粒的制备、表面改性及处理模拟废水机制研究[D]. 上海:东华大学,2017.

引用格式:陈攀,杨磊,孙伟,等. 盾构泥基陶粒的制备及其吸附性能研究[J]. 矿产保护与利用,2019,39(3):155-159.

CHEN Pan, YANG Lei, SUN Wei, et al. Study on preparation and adsorption properties of shield mud[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(3):155-159.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kebh@chinajournal.net.cn

(上接第154页)

- [5] 刘东方,刘文凯,薛宝达,等. 铝土矿尾矿合成莫来石的研究[J]. 矿业科学学报,2016(3):256-260.
- [6] 申献江,马冬阳,张梅,等. 铝土矿尾矿除杂及合成刚玉-莫来石研究[J]. 耐火材料,2017(4):256-269.
- [7] 曲占庆,曹彦超,郭天魁,等. 一种超低密度支撑剂的可用性评价[J]. 石油钻采工艺,2016,38(3):372-377.
- [8] 李树良. ULW-1.05 超低密度支撑剂评价及应用[J]. 油气田地面工程,2013,32(9):66-67.
- [9] 王晋槐,赵友谊,龚红宇,等. 石油压裂陶粒支撑剂研究进展[J]. 硅酸盐通报,2010(3):633-636.
- [10] 师志虎,石磊,等. 石油压裂陶粒支撑剂研究进展探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013(8):79.
- [11] 程占岭. 探讨石油压裂陶粒支撑剂研究进展[J]. 化工管理,2014,(26):125-125.
- [12] 崔冰峡,刘军,陈耀斌,等. 陶粒压裂支撑剂研究进展[J]. 硅酸盐通报,2016(2):458-463.
- [13] SY/T 5108-2014. 中华人民共和国石油天然气行业标准《水力压裂和砾石充填作业用支撑剂性能测试方法》[S]. 石油工业出版社,2015,3:5-22.
- [14] 吕宝强,刘顺,毕卫宇,等. 低密度陶粒支撑剂的指标工艺研究[J]. 铸造技术,2012,33(7):771-773.

引用格式:马俊伟,吴国亮,张建强,等. 铝土矿废石制备超低密度陶粒支撑剂的试验研究[J]. 矿产保护与利用,2019,39(3):151-154.

MA Junwei, WU Guoliang, ZHANG Jianqiang, et al. Experimental research on preparation of ultra-low-density ceramicsite proppant with bauxite waste rock[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(3):151-154.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kebh@chinajournal.net.cn