

文章编号: 1674-2869(2016)02-0158-05

铁矿尾矿的活化及蒸养砖的制备

高金锋, 高 伦, 安子博, 梁 实, 曹 宏, 薛 俊*

武汉工程大学材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430074

摘 要: 采用煅烧、磁选工艺对铁矿尾矿的惰性进行改性, 以改性后的铁矿尾矿为原料制备了蒸养砖, 实现了对铁矿尾矿的废物利用. 将选矿尾矿与一定量煤粉混合煅烧, 使其具有火山灰活性并使尾矿中的矿石矿物转变成磁铁矿. 对煅烧尾矿进行磁选, 并检测三氧化二铝和二氧化硅的总溶出率. 以活化磁选后的铁矿尾矿为主要原料, 采取干压成型制备了蒸养砖. 结果表明, 煅烧后磁选能够将重选尾矿、浮选尾矿中的铁含量分别降低 39.41 % 和 45.10 %, 分选出来的铁精矿的品位均在 57 % 以上. 同时, 重选尾矿的火山灰活性提高了近 3 倍, 磁选尾矿的火山灰活性提高近 2 倍. 制备蒸养砖的最佳配合比为: 水泥、建筑砂与尾矿的质量比为 1:1:8, 水料比 0.15, 石膏掺量为总干物料的 2%. 所制得蒸养砖的抗折强度、抗压强度、吸水率、软化系数、干质量损失、干燥收缩率等性能指标都达到了非烧结砖的国标要求.

关键词: 煅烧; 活化; 溶出率; 强度; 干燥收缩

中图分类号: TU522.1

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2016.02.010

Activation of Iron Ore Tailings and Preparation of Steam-Cured Bricks

GAO Jinfeng, GAO Lun, AN Zibo, LIANG Shi, CAO Hong, XUE Jun*

School of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: The iron ore tailings were used as the raw materials to prepare steam-cured bricks for better use of the waste materials, and the calcination and magnetic separation technology was employed to modify the reactivity of the starting iron ore tailings. The mixtures of the tailings and a certain amount of coal powder were calcined, so that they gained the pozzolanicity activities, the ore minerals in the tailings were transformed to magnetite iron minerals. After magnetic separation, the total dissolution rate of alumina and silicon dioxide was determined. Finally, by using the activated and magnetic separated iron ore tailings as the major raw materials, the steamed curing bricks were obtained by the dry pressing method. The results show that the iron content in reelected tailings and flotation tailings in the magnetic separation after calcining reduces by 39.41% and 45.10%, respectively, and the iron ore concentration is higher than 57% in the sorting out. Meanwhile, the pozzolanic activities of the tailings achieves 3-fold increase by the gravitational separation and 2-fold increase by the magnetic separation. The optimum compounding ratios for preparing steam-cured bricks are obtained at the mass ratio of cement and building sand and tail ore of 1:1:8, the ratio of water and dry powders of 0.15, and 2% for the dosage of the gypsum in the total dry powders. All the physical parameters, including flexural strength, compressive strength, water absorption, softening coefficient, dry mass loss and drying shrinkage performance indicators of the prepared steam-cured bricks have reached the national standard of baked brick.

Keywords: calcinations; activation; dissolution rate; strength; drying shrinkage

收稿日期: 2015-11-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAB07B05); 湖北省自然科学基金项目(2014CFB788); 武汉工程大学科学研究基金(K201465); 武汉工程大学研究生教育创新基金(CX2014071, CX2015009)

作者简介: 高金锋, 硕士研究生. E-mail: 835247138@qq.com

*通讯作者: 薛 俊, 博士, 副教授. E-mail: 120373109@qq.com

1 引言

随着我国经济的高速发展,钢铁的需求量也日益攀升,由此带来的铁矿尾矿等工业废料也在不断增加.据不完全统计,目前我国累计堆存的铁尾矿量高达50亿吨左右,而且随着铁矿产能的不断提高,尾矿堆存量以5亿吨/年的速度在不断增长.这些废料不仅占用了大量的土地资源,还存在着一定的安全隐患^[1-2].因此,如何变废为宝,将铁矿尾矿资源化利用成为人们越来越关注的问题.很多学者已开始着手研究利用铁矿尾矿作为填料来制备各种建筑材料^[3-5].如利用铁矿尾矿制备烧结砖^[6],蒸养砖^[7]等,但由于铁矿尾矿粒度细,属于典型的非活性矿物料,不具有火山灰活性,因此上述的应用中,铁矿尾矿只能当做惰性填料使用,添加量一般不大,从而水泥、骨料的用量大,导致成

本过高.

本文对铁矿尾矿进行煅烧活化,回收活化产生的铁精矿,减低成本的同时也提高了火山灰活性.在活化的铁矿尾矿中添加少量的建筑砂等,进行了干压成型制备蒸养砖,通过单因素试验方法优化得出制备铁矿尾矿蒸养砖的最佳配合比.并根据非烧结尾矿砖的相关标准,对样品进行了抗折抗压强度、吸水率、软化系数、干质量损失、干燥收缩率等性能指标进行测试分析.

2 实验部分

2.1 实验用原料

实验用主要原料:梅山铁矿尾矿(铁物相分析及矿物分析化见表1),水泥(黄石华新水泥P·O 32.5普通硅酸盐水泥),骨料(市售中粗砂),水(自来水).

表1 梅山铁矿尾矿的矿物分析和铁物相分析

Tab. 1 Analysis of mineral and iron phase of meishan iron ore tailing

| | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-----------|-----------------------|---------|--------------|-------|----------------|--------|---------------|-------|
| tailing | name | magnetite | kaolin | calcite | siderit | dolom | hematite | quartz | feldspar | total |
| mineral | <i>w</i> | 9–11 | 14–16 | 8–11 | 15–17 | 8–11 | 4–6 | 14–16 | 12–28 | 100 |
| analysis | calculate value | 10 | 15 | 9.5 | 16 | 9.5 | 5 | 15 | 20 | 100 |
| iron | name | magnetite | hematite and limonite | | iron sulfide | | iron carbonate | | iron silicate | total |
| phase | <i>w</i> | 0.40 | 9.19 | | 0.50 | | 7.80 | | 0.60 | 18.49 |
| analysis | distribution of iron | 2.16 | 49.7 | | 2.70 | | 42.2 | | 3.25 | 100 |

2.2 铁矿尾矿的活化

由于尾矿中含有菱铁矿、赤铁矿,这二者均不能通过磁选分离,需要在煅烧的过程中还原成可被磁选机分离的磁铁矿,实验中选取煤粉作还原剂.

活化的处理:1)将干燥过的重选和浮选铁矿尾矿分别通过0.147 mm方孔筛进行筛选;2)将过筛的煤粉按尾矿质量的0~8%分别加入到两种尾矿中混合均匀;3)取上述混合均匀的样品在700℃的温度下煅烧1 h,升温速率为15~20℃/min;4)将煅烧后的尾矿在流动空气中迅速冷却,采用干法磁选机进行再选矿,除去煅烧活化过程中形成的铁精矿,残余物即为活化的铁矿尾矿.

2.3 火山灰活性检测

取经过磁选后的样品进行火山灰活性检测.参照GB/T3286.2-1998^[8]和GB/T3286.3-1998^[9]配置待测溶液,测定经煅烧的尾矿中SiO₂和Al₂O₃总的溶出率.

2.4 蒸养砖的制备

首先研究了河砂与混合尾矿的掺量以及养护

温度对样品抗压强度的影响,确定最佳配合比设计和养护条件:水泥、建筑砂与混合尾矿的质量比为1:1:8,水料比为0.15,石膏掺量为总质量的2%.物料先干混10 min,再湿混10 min,陈化30 min.成型压力为20 MPa,成型的样品先标养1 d,然后在50℃下蒸养1 d,再标养5 d.

2.5 蒸养砖性能的测试

制备的蒸养砖,参照J/T422-2007^[10]《非烧结垃圾尾矿砖》和GB/T4111-1997^[11]《混凝土小型空心砌块试验方法》标准对蒸养砖的抗折抗压强度、干质量损失率、干燥收缩率、软化系数以及吸水率进行检验.

3 结果与讨论

3.1 活化与磁选的结果

重选和浮选的尾矿经过煅烧活化后,通过干法磁选机选矿,除去煅烧活化过程中形成的铁精矿.结果发现,煅烧后用干法磁选能够将重选尾矿、浮选尾矿中的铁含量分别降低39.41%和45.10%,分选出来的铁精矿的品位均在57%以上.

对未煅烧的尾矿进行火山灰活性检测,得出未煅烧的重选尾矿总的溶出率为4.53%,未煅烧的浮选尾矿总的溶出率为5.46%,而煅烧的重选尾矿的总溶出率达到了11.4%,煅烧的浮选尾矿的总溶出率达到了9.19%,可知煅烧的尾矿的三氧化二铝和二氧化硅总的溶出率有显著的提高,重选尾矿的活性提高了近3倍、浮选尾矿总的活性提高近2倍。也即是说,尾矿得到了有效活化。

从实验结果可以看出,对铁矿尾矿进行煅烧,不仅能提高铁矿尾矿的活性,同时通过煅烧-磁选获得的铁精矿可以收回使用,减少成本。

3.2 最佳配合比的研究

3.2.1 尾矿与建筑砂的掺量对蒸养砖抗压强度的影响 固定水泥、石膏以及水的用量,石膏掺量为总干物料质量的2%,改变建筑砂与尾矿的相对掺量,物料先干混10 min,加水搅拌10 min,再陈化30 min。在20 MPa的成型压力下成型。样品先置于水泥砼标养箱中标养1 d,再置于90℃蒸养箱中蒸养1 d,最后于水泥砼标养箱中标养5 d,再取出测7 d抗压强度。表2为建筑砂和尾矿配合比的设计图。

| cement | building sand | tailing | gypsum | the ratio of water and dry powders |
|--------|---------------|---------|--------|------------------------------------|
| 10 | 5 | 85 | 2 | 15 |
| 10 | 10 | 80 | 2 | 15 |
| 10 | 15 | 75 | 2 | 15 |
| 10 | 20 | 70 | 2 | 15 |
| 10 | 25 | 65 | 2 | 15 |

实验结果如图1所示,由图可以看出,在建筑砂掺量少于10%(质量分数,下同)时,样品的抗压强度逐渐增大,当河砂掺量达到10时,样品的抗压强度达到最大,继续增加河沙用量时,样品的抗压强度呈现先降低再升高的趋势,当河砂掺量为25%时升高值达到最大,但是小于河砂掺量为10%时的强度。出现上述现象的原因是:当河砂掺量为10%时,尾矿与建筑砂的空间级配最为合理,骨架中大的空隙被粒度较小的尾矿所填充,又因为煅烧过的尾矿具有火山灰活性,使骨架粘结的更为牢固,两者共同作用使蒸养砖强度达到最大。由于再继续增大河沙用量就会减少尾矿用量,达不到循环经济的要求,而且成本会逐渐增加,没有经济效益。图中误差棒表示抗压强度不确定度的大小,最大不确定度为0.85 MPa,最小不确定度为0.5

MPa,表示实验数据的可靠性牢固。据此确定建筑砂的掺量为10%,尾矿的掺量为80%。

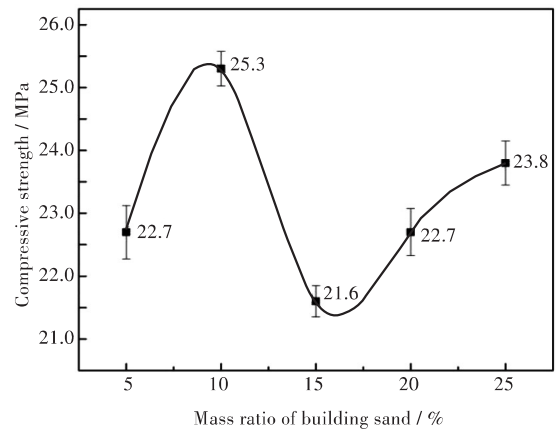


图1 尾矿与建筑砂的配比对蒸养砖抗压强度的影响

Fig. 1 Effect of compounding ratio of tailings and building sand on the compressive strength of steam-cured bricks

3.2.2 水泥用量对蒸养砖抗压强度的影响 确定骨料与尾矿的质量比为1:8,水料比0.15,石膏掺量为总干物料的2%,水泥用量分别是4%,7%,8%,10%,13%,16%。每组均按同样的总量配置,成型条件和养护条件同上。养护至龄期测试其抗压强度结果如图2所示,由图可知:随着水泥掺量的增加,蒸养砖的抗压强度不断增加,但当水泥掺量为10%时,其抗压强度为15.24 MPa,已经达到非烧结砖强度等级MU15的国标要求。图中误差棒表示抗压强度不确定度的大小,最大不确定度为0.45 MPa,最小不确定度为0.3 MPa,不确定度很小表明抗压强度可靠性很好。因此确定水泥掺量为10%。

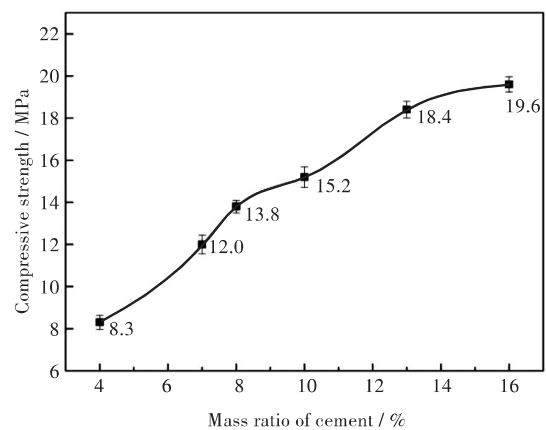


图2 水泥掺量对蒸养砖抗压强度的影响

Fig. 2 Effect of cement dosage on the compressive strength of steam-cured bricks

3.2.3 温度制度对蒸养砖学性能的影响 水泥、建筑砂与尾矿的质量比为1:1:8,水料比0.15,石膏掺量为总干物料的2%,成型方法同上.将成型好的样品先标样1 d,再分别置于50℃,70℃,90℃的温度下蒸养1 d,最后再标养5 d,测养护后的样品抗压强度,结果如图3所示,知养护的温度并不是越高越好,温度越高,能耗越大.图中误差棒表示抗压强度不确定度的大小,最大不确定度为0.61 MPa,最小不确定度为0.41 MPa,由图可知其抗压强度数值可靠性很好.由于50℃已经基本合适,因此确定样品的养护温度为50℃.

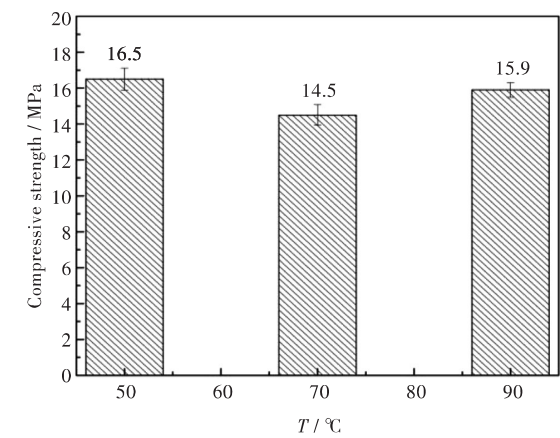


图3 养护温度对样品抗压强度的影响
Fig. 3 Effect of curing temperature on the compressive strength of samples

3.2.4 最佳配合比 确定最佳配合比:水泥、建筑砂与尾矿的质量比为1:1:8,水料比0.15,石膏掺量为总干物料的2%.成型条件是:先干混10 min,再湿混10 min,最后陈化30 min,成型压力为20 MPa.养护条件是:脱模后先标养1 d,再置于50℃下蒸养1 d,再标养5 d.

3.3 蒸养砖的性能测试

采用上述最佳配合比制备蒸养砖,参照J/T422-2007^[7]《非烧结垃圾尾矿砖》和GB/T4111-1997^[8]《混凝土小型空心砌块试验方法》标准对蒸养砖的抗折抗压强度、干质量损失率、干燥收缩率、软化系数以及吸水率进行检验.样品的各项性能检测结果如表3所示,从表中可以看出,制备的蒸养砖各项性能都能够达到相关要求.与此同时,用干燥未煅烧的铁矿尾矿做对比实验,结果发现,使用干燥未煅烧的铁矿尾矿在相同条件下,所制备蒸养砖的抗压强度仅为5.34 MPa,而使用煅烧尾矿制备的蒸养砖,抗压强度达到了15.74 MPa.当水泥掺量相同时,经静停初养,煅烧尾矿制备的坯体,其强度0.8 MPa,而用未经煅烧尾矿制备的坯体,其强度仅有0.3 MPa.这两项试验说明,煅烧后的尾矿得到了显著活化,与未煅烧尾矿相比,在达到同等强度的条件下,制备建材可以减少水泥用量.

表3 样品性能的检测结果
Tab.3 Test results of the performances of samples

| test item | | standard requirement | measured results | single determination |
|----------------------------|--|----------------------|------------------|----------------------|
| compressive strength / MPa | average \geq | 15 | 15.7 | qualification |
| | minimum \geq | 12 | 14.3 | |
| frost resistance | compressive strength after freezing and thawing / MPa \geq | 12 | 13.3 | qualification |
| | the loss of single brick dry mass / % \leq | 2.0 | 0.065 | qualification |
| drying shrinkage / % | | ≤ 0.06 | 0.06 | qualification |
| softening coefficient / % | | ≥ 0.80 | 0.85 | qualification |
| water absorption / % | | ≤ 18.00 | 13.55 | qualification |

4 结 语

1) 通过煅烧活化后,磁选能够将重选尾矿、浮选尾矿中的铁含量分别降低 39.41 % 和 45.10 %, 分选出来的铁精矿的品位均在 57% 以上,可以回收利用,减低成本. 重选尾矿的活性提高了近 3 倍、磁选尾矿的活性提高近 2 倍.

2) 利用铁矿尾矿制备蒸养砖中,较理想的原料配比及工艺条件是:水泥、建筑砂与尾矿的质量比为 1:1:8,水料比 0.15,石膏掺量为总干物料的 2%. 成型条件是:先干混 10 min,再湿混 10 min,最后陈化 30 min,成型压力为 20 MPa. 养护条件是:脱模后先标养 1 d,再置于 50 ℃ 下蒸养 1 d,再标养 5 d. 制备的蒸养砖各项性能都能达到相关的要求,与未煅烧尾矿相比,在达到同等强度的条件下,制备建材可以减少水泥用量.

参考文献:

- [1] 朱胜元. 尾矿综合利用是实现我国矿业可持续发展的重要途径[J]. 铜陵财经专科学校学报, 2000, 52(1): 38-40.
ZHU S Y. Tailings utilization is an important way to achieve sustainable development of China's mining industry [J]. Journal of Tongling college of finance and economics, 2000, 52 (1): 38-40.
- [2] 金家康, 孙宝臣. 浅谈铁尾矿综合利用的现状和问题[J]. 山西建筑, 2008, 64(10): 26-27.
JIN J K, SUN B C. Discussion on the present situation and problems of comprehensive utilization of iron tailings [J]. Shanxi architecture, 2008, 64 (10): 26-27.
- [3] 郭春丽. 利用铁尾矿制造建筑用砖[J]. 砖瓦, 2006, 78 (2): 42-44.
GUO C L. Production of building bricks from iron ore tailings [J]. Brick, 2006, 78 (2): 42-44.
- [4] 刘露. 铁尾矿制砖研究与利用现状[J]. 矿业快报, 2008, 98(10): 14-18.
LIU L. Research and current situation of utilization of brick making by iron ore tailings [J]. Mining express, 2008, 98 (10): 14-18.
- [5] LI J, WANG Q, LIU J H, et al. Synthesis process of forsterite refractory by iron ore tailings [J]. Journal of environmental sciences supplement, 2009, 21(8): 92-95.
- [6] 郝先成, 蹇守卫. 利用铁尾矿制备烧结砖的研究[J]. 新型建筑材料, 2012, 39(7): 25-28.
HAO X C, JIAN S W. Research on the sintered brick of iron-slag [J]. New building materials, 2012, 39 (7): 25-28.
- [7] 黄世伟, 李妍研, 程麟, 等. 用梅山铁尾矿制备免烧免蒸砖[J]. 金属矿山, 2007, 20(4): 81-84.
HUANG S W, LI Y Y, CHENG L, et al. Preparation of burning and steam curing-free bricks from Meishan iron ore tailings [J]. Metal mining, 2007, 20 (4): 81-84.
- [8] 中华人民共和国原冶金工业部. 石灰石、白云石化学分析方法二氧化硅量的测定: GB/T 3286.2-1998 [S]. 北京: 首钢特钢公司, 1998.
- [9] 中华人民共和国原冶金工业部. 石灰石、白云石化学分析方法氧化铝量的测定: GB/T 3286.3-1998 [S]. 武汉: 武汉钢铁(集团)公司技术中心, 1998.
- [10] 中国建筑材料工业协会. 非烧结垃圾尾矿砖. JC/T 422-2007 [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2008.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 混凝土小型空心砌块试验方法: GB/T 4111-1997 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.

本文编辑: 龚晓宁